

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO PATRÍCIO TSUJIGUSHI

APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA E  
MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIONS NO PERFIL DE DIFERENTES SOLOS

CURITIBA

2019

BRUNO PATRÍCIO TSUJIGUSHI

APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA E  
MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIONS NO PERFIL DE DIFERENTES SOLOS

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal do Paraná, como requisito  
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência  
do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti  
Coorientadora: Profa. Dra. Eloana Janice Bonfleur  
Coorientador: Prof. Dr. Vander de Freitas Melo

CURITIBA

2019

T882a Tsujigushi, Bruno Patrício  
Aplicação de corretivos de acidez e gesso agrícola e  
movimentação de cátions no perfil de diferentes solos / Bruno  
Patrício Tsujigushi. - Curitiba, 2019.  
153 p.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de  
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do  
Solo.  
Orientador: Volnei Pauletti  
Coorientadora: Eloana Janice Bonfleur  
Coorientador: Vander de Freitas Melo

1. Solos - Acidez. 2. Solos – Teor de gesso. 3. Solos -  
Lixiviação. I. Pauletti, Volnei. II. Bonfleur, Eloana Janice. III. Melo,  
Vander de Freitas. IV. Título. V. Universidade Federal do Paraná.

CDU 631.415.2



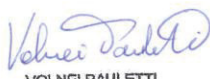
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS DO SOLO -  
40001016014P4

### TERMO DE APROVAÇÃO


Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de BRUNO PATRÍCIO TSUJIGUSHI intitulada: APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE ACIDEZ E GESSO AGRÍCOLA E MOVIMENTAÇÃO DE CATIONES NO PERFIL DE DIFERENTES SOLOS, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

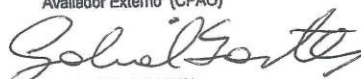
A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Abril de 2019.

  
VOLNEI PAULETTI

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
CARLOS HISSAO KURIHARA  
Avaliador Externo (CPAO)

  
GABRIEL BARTH  
Avaliador Externo (FUNDABC)

  
ANTONIO CARLOS VARGAS MOTTA  
Avaliador Interno (UFPR)

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, pela vida com vitórias, glórias, bênçãos e prosperidade.

Aos meus pais Daniel Yukio Tsujigushi e Maria José Patrício Tsujigushi, por sempre me apoiarem. Amo vocês e tenho orgulho em ser seu filho.

Aos meus filhos Liam Nathan Dambong Tsujigushi e Beatriz Anne Dambong Tsujigushi, por me trazerem alegria e renovar minhas energias para recomeçar a luta a cada dia.

A minha irmã e sobrinho, que sempre me incentivaram e apoiaram.

A minha namorada Maria Fabiana de Brito, por sempre estar do meu lado, me incentivando e ajudando nas horas difíceis.

Ao meu orientador e amigo Dr. Volnei Pauletti, por aceitar me orientar e me apoiar durante esses quatro anos. Obrigado pelos ensinamentos, paciência, confiança e conselhos, que foram fundamentais para conclusão desse trabalho.

Ao Dr. Carlos Hissao Kurihara pela amizade sincera, ajuda e dedicação sempre que precisei. Você é e sempre será uma inspiração.

Aos colegas de turma e colaboradores que contribuíram durante o desenvolvimento deste experimento, em especial as técnicas dos laboratórios de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; e a secretária da pós-graduação Denise.

Aos estagiários Eloise, Roberta e Felipe que me auxiliaram na condução das atividades.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de cursar o doutorado e realizar este trabalho.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Doutorado, que tornou a realização desse sonho realidade.

A empresa Caltec Química Industrial pela parceria e apoio financeiro na condução dos experimentos.

A todos os professores da Universidade Federal do Paraná – UFPR, pelas valiosas contribuições teóricas e práticas para minha formação e consequente realização deste trabalho.

E por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, meu sincero MUITO OBRIGADO!



## RESUMO GERAL

Grande parte das terras agricultáveis brasileiras possui característica ácida. Essa acidez tem influências negativas sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com reflexos sobre o desenvolvimento e produtividade das culturas, sendo a correção da acidez uma prática agrícola essencial e indispensável para manutenção da fertilidade dos solos. Quando realizada de maneira correta e aliada a uma boa adubação, disponibiliza nutrientes e diminui a atuação de elementos tóxicos, garantindo assim um solo capaz de proporcionar altos rendimentos às culturas. Apesar disso, os corretivos de acidez, em geral, possuem baixa mobilidade no perfil do solo, o que pode ocasionar restrições no crescimento radicular das plantas nas camadas subsuperficiais. Nestes casos, o sulfato de cálcio, ou gesso agrícola, devido alta mobilidade do ânion  $\text{SO}_4^-$  pode contribuir proporcionando diluição da saturação de  $\text{Al}^{3+}$  na CTC do solo, com aumento de bases em subsuperfície ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ). Desse modo, o objetivo desse trabalho foi estudar o efeito da aplicação de diferentes corretivos de acidez e de gesso agrícola na movimentação de cátions no perfil do solo. Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná, Campus de Curitiba. No primeiro experimento, as colunas foram preenchidas com amostras de um Latossolo e de um Neossolo, e na superfície foram aplicados sete corretivos de acidez além do tratamento controle, sem aplicação. No segundo experimento, foram utilizados três solos com diferentes mineralogias (Latosolo Vermelho, Neossolo Quartzarenico e Cambissolo Háplico) para preencher as colunas. Em 1/3 das colunas não foi realizado qualquer cultivo de plantas, enquanto em outro 1/3 das colunas foi cultivado tritcale antes da soja e no outro 1/3, cultivado apenas soja. A concentração do alumínio tóxico ( $\text{Al}^{3+}$ ) na camada superior do solo (0-5 cm) foi praticamente anulada pela aplicação de todos os corretivos avaliados. O efeito na diminuição da disponibilidade deste metal ocorreu até a camada de 15-20 cm em ambos os solos, sendo que o  $\text{CaCO}_3$  foi o produto que se destacou. A aplicação conjunta de gesso + óxido de magnésio proporcionou maior deslocamento de Ca e Mg no perfil do solo, especialmente no Neossolo, com efeitos até a última camada avaliada (50-60 cm) e no lixiviado. Não houve lixiviação de K, mas houve de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  tanto no Neossolo Quartzarênico, quanto no Latossolo. O cultivo de plantas diminuiu o teor de K trocável no solo em relação ao não cultivo. As concentrações de cátions no lixiviado com a aplicação de gesso concordam com a série de afinidade de ligação de cátions com o ânion  $\text{SO}_4^{2-}$  seguindo a ordem:  $\text{MgSO}_4 < \text{CaSO}_4 < \text{K}_2\text{SO}_4$ , deste modo, a movimentação do  $\text{K}^+$  no solo parece ter sofrido maior influência do aumento no teor  $\text{Ca}^{2+}$  da que de sulfato proporcionado pelo gesso. Como conclusões gerais, os corretivos utilizados aumentaram o pH e diminuíram  $\text{Al}^{3+}$  tóxico na camada superficial, com pouca mobilidade no perfil do solo; maior correção da acidez em profundidade foi obtida com a aplicação superficial de carbonato de cálcio; o gesso foi o produto mais efetivo em deslocar cátions em profundidade no solo e aumentar os mesmos no lixiviado; a movimentação do K no solo pelo gesso foi mais devido ao aumento no teor  $\text{Ca}^{2+}$  do que pela adição de sulfato ao sistema.

Palavras-chave: Acidez do solo. Condicionador de solo. Lixiviação de bases.

## GENERAL ABSTRACT

The chemical characteristics of the soil and its proper fertilization are essential factors for the establishment of highly efficient agricultural systems. It is known that a large part of Brazilian agricultural land has an acidic characteristic. This acidity has negative influences on the physical, chemical and biological properties of the soil, with reflexes on the development and productivity of the crops. The correction of acidity is an essential and indispensable agricultural practice for soil fertility maintenance. When performed correctly and combined with a good fertilizer, provide nutrients and reduces the performance of toxic elements, thus ensuring a soil capable of providing high yields of crops. Nevertheless, acidity correctors generally have low mobility in the soil profile, which may lead to restrictions on root growth of the plants in the subsurface layers. The gypsum despite not be considered a correction of acidity and acts as a soil conditioner by diluting the saturation  $\text{Al}^{3+}$  in soil CEC, an increase in subsurface bases ( $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ ). However, the application of the plaster must occur in proper amount for when applied in high doses, can provide increased leaching bases, due to the high mobility of the anion  $\text{SO}_4^-$  and / or calcium addition. Thus, the objective of this work was to study the effect of the application of different correctives of acidity and doses of agricultural gypsum on the movement of cations in the soil profile. Two greenhouse experiments were conducted at the Department of Soils and Agricultural Engineering of the Federal University of Paraná, Curitiba Campus. The combined application of gypsum + magnesium oxide provided greater displacement of Ca and Mg in the soil profile, especially in the Quartzarenic soil, with effects up to the last evaluated layer (50-60 cm) and in the leachate. There was no K leaching, but there was  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  in the Cambisol and Latosol. Plant cultivation decreased the exchangeable K content in the soil compared to non-cultivation. The cation concentrations in the gypsum leachate agree with the cation binding affinity series with the anion  $\text{SO}_4^{2-}$  following the order:  $\text{MgSO}_4 < \text{CaSO}_4 < \text{K}_2\text{SO}_4$ , thus the  $\text{K}^+$  movement in the soil seems to have been more influenced of the increase in  $\text{Ca}^{2+}$  than sulfate content provided by the plaster. As general conclusions, the correctives used increased the pH and decreased toxic  $\text{Al}^{3+}$  in the superficial layer, with little mobility in the soil profile; greater correction of depth acidity was obtained with the superficial application of calcium carbonate; Gypsum was the most effective product in displacing cations deep in the soil and increasing them in the leachate; The movement of K in the soil by the plaster was more due to the increase in  $\text{Ca}^{2+}$  content than to the addition of sulfate to the system.

Keywords: Acidity of soil. Soil conditioner. Base leaching.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - A) APLICAÇÃO DA PARAFINA NA COLUNA. B): CAP COM O CANO NO CENTRO PARA ESCOAMENTO DO LIXIVIADO.....	52
FIGURA 2 - COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO COM COLETA EM GARRAFAS PET.....	53
FIGURA 3 - COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO COM COLETA EM GARRAFAS PET.....	54
FIGURA 4 – DIVISÃO DAS CAMADAS DO SOLO APÓS 120 DIAS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS NA SUPERFÍCIE PARA COLETA E POSTERIOR ANÁLISE QUÍMICA.....	55
FIGURA 5 - FOTOS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA TIRADA DOS PRODUTOS UTILIZADOS COMO TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO.....	58
FIGURA 6 - CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, ALUMÍNIO E SULFATO NO LIXIVIADO AOS 5, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DOS CORRETIVOS NA SUPERFÍCIE DO LATOSSOLO VERMELHO EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO. ....	71
FIGURA 7 - CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, ALUMÍNIO E SULFATO NO LIXIVIADO AOS 5, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DOS DIFERENTES CORRETIVOS NA SUPERFÍCIE DO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO. ....	72
FIGURA 8 - LOCAL DE COLETA DO LATOSSOLO VERMELHO, NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL, PR. ....	86
FIGURA 9 - LOCAL DA COLETA DO NEOSSOLO, NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.....	86
FIGURA 10 - LOCAL DE COLETA DO CAMBISSOLO, NA SERRA DO MAR, PR. ....	87
FIGURA 11 - TRINCHEIRAS ABERTAS NOS LOCAIS DE COLETA DE SOLO, LATOSSOLO, CAMBISSOLO E NEOSSOLO.....	87
FIGURA 12 - APLICAÇÃO DE PARAFINA NAS COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO.....	90
FIGURA 13 - CAP DE FECHAMENTO DA EXTREMIDADE DO CANO E TECIDO FILTRO.....	91
FIGURA 14 - COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO PRONTAS PARA RECEBER O SOLO...91	
FIGURA 15 - COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO ABERTAS PARA COLETA DAS SUB-AMOSTRAS DE SOLO APÓS O FIM DO EXPERIMENTO. ....	93
FIGURA 16 - VARIAÇÃO DO PH DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA, EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO	



VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO(C)). .....95

FIGURA 17 - VARIAÇÃO DO AL TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDO DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C). .....98

FIGURA 18 - VARIAÇÃO DO CA TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C). ..... 100

FIGURA 19 - VARIAÇÃO DO MG TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA, EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C). ..... 104

FIGURA 20 - VARIAÇÃO DO K TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C). ..... 106

FIGURA 21 - VARIAÇÃO DO  $\text{SO}_4^{2-}$  DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C). ..... 109

FIGURA 22 - EFEITO DE DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON  $\text{HA}^{-1}$ ) NA CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO -  $\text{CA}^{2+}$  (MG COLUNA  $^{-1}$ ) NO LIXIVIADO DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA CHUVA SIMULADA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO). ..... 111

FIGURA 23 - EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON  $\text{HA}^{-1}$ ) NA CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO -  $\text{MG}^{2+}$  (MG COLUNA  $^{-1}$ ) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO GESSO EM SUPERFÍCIE). ..... 113

FIGURA 24 - EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO - K<sup>+</sup> (MG COLUNA<sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO(B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE)..... 115

FIGURA 25 - EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO- AL<sup>3+</sup> (MG COLUNA<sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO GESSO EM SUPERFÍCIE)..... 117

FIGURA 26 -EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE SULFATO – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (MG COLUNA<sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE)..... 119

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RECOMENDAÇÕES DE CALCÁRIO (PRNT = 100%) PARA CORRIGIR A ACIDEZ, VISANDO ELEVAR O PH EM ÁGUA A 5,5, 6,0 E 6,5 PELO ÍNDICE SMP. ....	29
TABELA 2 - RECOMENDAÇÃO DE GESSO EM FUNÇÃO DA TEXTURA DO SOLO PARA CULTURAS ANUAIS E PERENES.....	33
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS CORRETIVOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO .....	49
TABELA 4 - DOSES DOS CORRETIVOS APLICADOS EM CADA TRATAMENTO	50
TABELA 5 - ANÁLISE QUÍMICA DOS SOLOS NAS RESPECTIVAS CAMADAS AMOSTRADAS, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO. ....	51
TABELA 6- DISTRIBUIÇÃO DO PH(CACL <sub>2</sub> ) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DOS DIFERENTES PRODUTOS CORRETIVOS NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM, NO LATOSSOLO VERMELHO (LATOSSOLO) E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NEOSSOLO). ....	59
TABELA 7 - CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO TROCÁVEL (AL <sup>3+</sup> ) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DOS DIFERENTES CORRETIVOS NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM, NO LATOSSOLO VERMELHO (LATOSSOLO) E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NEOSSOLO). ....	62
TABELA 8- PORCENTAGEM DE ALUMÍNIO NA CTC EFETIVA (M%) NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DIFERENTES CORRETIVOS NO LATOSSOLO VERMELHO (LATOSSOLO) E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NEOSSOLO). ....	63
TABELA 9- CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO TROCÁVEL (CA <sup>2+</sup> CMOLC DM <sup>-3</sup> ) NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM DO LATOSSOLO VERMELHO (LATOSSOLO) E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NEOSSOLO) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DIFERENTES CORRETIVOS EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO.....	65
TABELA 10- CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO TROCÁVEL (MG <sup>2+</sup> CMOLC DM <sup>-3</sup> ) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DOS DIFERENTES CORRETIVOS NAS CAMADAS (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM) DO LATOSSOLO VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO. ....	67
TABELA 11- CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO TROCÁVEL (K <sup>+</sup> CMOLC DM <sup>-3</sup> ) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DOS DIFERENTES CORRETIVOS NAS CAMADAS (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM) DO LATOSSOLO VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO. ....	68

TABELA 12- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA <sup>1</sup> E TEXTURAL DO LATOSSOLO COLETADO EM QUATRO PROFUNDIDADES, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, EM CASCAVEL, PR.....	88
TABELA 13- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA <sup>1</sup> E TEXTURAL DO NEOSSOLO COLETADO EM QUATRO PROFUNDIDADES, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, EM PONTA-GROSSA, PR. ....	88
TABELA 14- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA <sup>1</sup> E TEXTURAL DO CAMBISSOLO COLETADO EM QUATRO PROFUNDIDADES, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, EM PINHAIS, PR.....	89
TABELA 15- RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA REFERENTE A PH (CACL <sub>2</sub> ) E TEORES DE CA, MG, K, AL, P E SO <sub>4</sub> NAS QUATRO PROFUNDIDADES (0-10, 10-20, 20-40 E 40-60 CM) AVALIADAS.....	140
TABELA 16 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA REFERENTE AS CONCENTRAÇÕES DE (CA, MG, K, AL E SO <sub>4</sub> ), NAS CINCO DATAS DE SIMULAÇÃO DE CHUVA REALIZADAS.....	141
TABELA 17- EQUAÇÕES DOS AJUSTES DE REGRESSÃO PARA AS CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, ALUMÍNIO E ENXOFRE NO LATOSSOLO VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.....	142
TABELA 18- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DA VARIAÇÃO DO PH DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA, EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C). ....	143
TABELA 19- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO AL TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDO DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).....	144
TABELA 20- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO CA TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMCISSOLO HÁPLICO (C).....	145
TABELA 21- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO MG TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA, EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).....	146

TABELA 22- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO K TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C)..... 147

TABELA 23- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C)..... 148

TABELA 24- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DE DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO - CA<sup>2+</sup> (MG COLUNA <sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA CHUVA SIMULADA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO)..... 149

TABELA 25- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO - MG<sup>2+</sup> (MG COLUNA <sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO GESSO EM SUPERFÍCIE). ..... 150

TABELA 26- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO - K<sup>+</sup> (MG COLUNA <sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO(B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE)..... 151

TABELA 27- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO- AL<sup>3+</sup> (MG COLUNA <sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO GESSO EM SUPERFÍCIE). ..... 152

TABELA 28- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE SULFATO – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (MG COLUNA <sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE)..... 153



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	ORIGEM DA ACIDEZ DO SOLO.....	17
2.2	COMPONENTES DA ACIDEZ DO SOLO .....	20
2.3	EFEITO DA ACIDEZ NO SOLO E NA PLANTA .....	22
2.4	CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO.....	24
2.5	MÉTODOS PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM .....	27
2.6	IMPORTÂNCIA DA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM PROFUNDIDADE.....	30
2.7	GESSO.....	31
2.7.1.	ORIGEM DO GESSO.....	31
2.7.2.	INDICAÇÕES TÉCNICAS PARA A DEFINIÇÃO DA QUANTIDADE DE GESSO A SER APLICADA .....	32
2.7.2.	UTILIZAÇÃO DO GESSO.....	33
2.8	REFERÊNCIAS .....	36
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO II: APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CORRETIVOS E CONDICIONADOR NA CORREÇÃO DA ACIDEZ E MOVIMENTAÇÃO DE CATIONES NO PERFIL DO SOLO.....</b>	<b>44</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>44</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>45</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	46
3.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	49
3.5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
3.5.1.	SOLO.....	56
3.5.2.	LIXIVIADO .....	69
3.6.	CONCLUSÕES.....	75
3.7.	REFERÊNCIAS .....	76
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO III: APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA NA MOVIMENTAÇÃO DE BASES NO PERFIL DE SOLOS PARANAENSES .....</b>	<b>81</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>81</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>82</b>
4.1.	INTRODUÇÃO.....	83
4.2.	MATERIAL E MÉTODOS .....	85
4.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	94
4.3.1.	SOLO.....	94
4.3.2.	LIXIVIADO .....	110
4.4.	CONCLUSÕES.....	120
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>126</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>140</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Os solos com características ácidas são observados em 30% das áreas agricultáveis no mundo, com tendência a aumentar no passar do tempo. No Brasil esse número sobe para 70% (QUAGGIO, 2000) e sua presença pode ser verificada em todas as regiões produtivas. Estudos realizados por Malavolta (1985) indicam que na região Amazônica, aproximadamente 75% dos solos agriculturáveis possuem acidez elevada; nas regiões Sul e Centro-Oeste, esses solos correspondem a 60%; e na região Nordeste, 40%.

A acidez do solo pode se originar de diversos fatores, como a ação contínua do intemperismo, manejo inadequado dos solos e utilização de fertilizantes nitrogenados (UEXKULL; MUTERT, 1995) e interfere diretamente nos atributos químicos e biológicos dos solos (OSAKI, 1990).

Para garantir o bom desempenho produtivo das culturas, os solos ácidos necessitam ser corrigidos. A acidez dos solos é neutralizada por meio de bases fracas  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{Si}_3^{2-}$  (ALCARDE, 1986). O grupo químico mais utilizado como corretivo do solo são os carbonatos, porém, outros materiais corretivos podem ser utilizados, como óxidos e hidróxidos de cálcio e magnésio, silicatos provenientes de siderurgia, lodo de esgoto entre outros (VELOSO et al., 1992; RAMOS et al., 2006). Os calcários têm na sua composição misturas dos minerais de calcita, dolomita e magnesita (QUAGGIO, 2000), e são classificados de acordo com a composição em MgO, em calcítico (menos de 5%), magnesiano (de 5 a 12%) e dolomítico (mais de 12% de MgO).

Os efeitos benéficos do calcário aplicado a lanço, sem incorporação, no Sistema Plantio Direto, podem ser observados em curto prazo para as camadas superficiais do solo (ALLEONI et al., 2005; CAIRES et al., 2006; PÖTTKER; BEN, 1998; RHEINHEIMER et al., 2000; TIRITAN et al., 2016). No entanto, a correção das camadas subsuperficiais é mais lenta, especialmente em solos que possuem carga variável dependente de pH (FRAGERIA; NASCENTE, 2014).

Os corretivos de acidez, em geral, possuem baixa mobilidade no solo, podendo ocasionar restrições ao crescimento radicular das plantas nas camadas subsuperficiais pela presença de  $\text{Al}^{3+}$  e falta de  $\text{Ca}^{2+}$ .

Neste contexto, Kaminski (2000) recomenda para a correção das camadas subsuperficiais do solo, a utilização da incorporação mecânica dos corretivos ou o uso do gesso agrícola. Mesmo não tendo efeito direto na correção do pH (VELOSO et al., 1992; MEURER et al. 2004), o gesso reage com o  $\text{Al}^{3+}$ , precipitando-o (ZAMBROSI et al., 2007) e fazendo com que ele fique em formas menos tóxicas ( $\text{AlSO}_4^+$ ), além de aumentar os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e S no subsolo (NEIS et al., 2010), sendo assim considerado um condicionador do solo (RAIJ, 2008).

Cabe ressaltar que o uso excessivo do gesso agrícola proporciona a adição de grandes quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  ao solo, que, por sua vez, apresenta maior energia de adsorção aos colóides, quando comparado ao  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ . Desta forma, caso não seja considerado o balanço de cargas dos colóides e a formação de sulfatos percolantes, pode haver um aumento na lixiviação dos nutrientes ao longo do perfil do solo (CAIRES et al., 2003; RAIJ, 2008), principalmente das bases  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ .

Desse modo, os objetivos desse trabalho foram estudar o efeito da aplicação de diferentes corretivos de acidez e gesso agrícola na movimentação de cátions no perfil de solos com texturas diferentes, e avaliar o efeito de doses crescentes de gesso agrícola na movimentação de cátions no perfil do solo.

Para isso, a tese foi organizada em três capítulos, onde: o capítulo 1 apresenta uma fundamentação teórica sobre os assuntos relacionados à acidez dos solos, seus corretivos e utilização do gesso agrícola. O capítulo 2 aborda o experimento conduzido em casa de vegetação, em colunas de lixiviação, para avaliar o efeito da aplicação de diferentes corretivos do solo e condicionador, na correção da acidez e movimentação de cátions no perfil de solos com texturas distintas. O Capítulo 3 aborda o estudo realizado em colunas de lixiviação, avaliando o efeito de doses crescentes de gesso agrícola na lixiviação de bases em solos paranaenses, com diferentes coberturas de solo.

## 2. CAPÍTULO I: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ORIGEM DA ACIDEZ DO SOLO

O contato das rochas com a atmosfera dá início ao processo denominado intemperismo, responsável pela transformação ou modificação na estrutura e composição dos minerais, dando origem a novos, desencadeando assim a formação dos solos. Esse fenômeno pode ter caráter físico, químico ou biológico.

As transformações mecânicas são chamadas de intemperismo físico e ocorrem devido às variações de temperatura e de pressão atmosférica. Durante esse processo, ocorre a fragmentação da rocha, sem haver modificação na estrutura química dos minerais. Já os intemperismos químico e biológico modificam a estrutura dos minerais por intermédio de reações químicas. Este processo se inicia com os minerais primários que estão presentes nas rochas matrizes e que não sofreram quaisquer tipos de modificação em sua estrutura; porém, com o passar do tempo e ação dos microrganismos e de reações químicas, resulta em novos minerais (KER et al., 2012).

As principais reações do intemperismo químico são: hidratação, oxidação, complexação e a hidrólise. A hidratação consiste na entrada de água no sistema, iniciando assim o processo de dissolução, transformando um mineral em outro pela remoção ou inserção de elementos no mineral. A oxidação é o processo no qual o mineral entra em contato com o oxigênio presente na água, sendo que este oxigênio irá oxidar os elementos passíveis de serem oxidados, modificando assim a estrutura dos minerais. A complexação é a reação em que os compostos orgânicos que estão dissolvidos em água, e que possuem a capacidade de reter elementos devido às suas cargas, começam a mobilizar elementos e formar complexos. E a hidrólise, reação que tem grande importância nos solos de clima tropical, consiste na modificação da estrutura dos minerais, decorrente da quebra das ligações químicas e liberação de cátions e ânions, com posterior remoção pela drenagem ou recombinação em novos minerais.

O intemperismo é acentuado em regiões de clima tropical e subtropical, em função das maiores temperaturas e regimes pluviométricos. A intemperização resulta na formação de solos com boa estrutura física, mas com baixa concentração de bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), associado ou não a uma elevada

concentração de hidrogênio ( $H^+$ ) e alumínio ( $Al^{3+}$ ). Este fenômeno ocorre devido a processos de dessilicação e laterização, que causam a remoção total ou parcial do silício e das bases, promovendo aumento na concentração de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  nas cargas negativas dos solos, dando início ao processo de acidificação (Meurer et al., 2010). Os solos destas regiões passam a ter como principais constituintes da fração argila os óxidos de ferro e alumínio e a caulinita, minerais característicos de solos altamente intemperizados (BORTOLUZZI et al., 2015; CARVALHO FILHO et al., 2015; FINK et al., 2016).

Ao se discutir a acidificação do solo, é importante ter claro os conceitos de ácido e base, bem como, a definição de pH solo. O conceito de ácido-base mais utilizado é o de Lewis que define como sendo base o doador de par de elétrons e ácido o receptor de par de elétrons (WENCEL, et al. 2013). Contudo, quando se trata da natureza química da acidez de solo, o termo que melhor se aplica é a definição proposta por Bronsted e Lowry, segundo o qual um ácido é um doador um próton  $H^+$  e base um receptor de próton  $H^+$  (MCBRIDE, 1989).

O conceito de pH "potencial hidrogeniônico", foi introduzido para representar a concentração de  $H^+$  numa determinada solução. Trata de uma escala logarítmica que mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade do meio, sendo expresso por:  $pH = -\log^{(H^+)} = \log^1 (H^+)$  (PROCHNOW, 2014). Cada mudança na escala do pH do solo representa um aumento ou diminuição de 10 vezes no grau de acidez ou basicidade.

Segundo Lopes (1989a), nos solos podem ser encontrados valores de pH variando entre 3 a 10, com predomínio de valores inferiores à 6 nas áreas agricultáveis do Brasil.

Os solos ácidos correspondem a cerca de 3.950 milhões de hectares, ou seja, 30% de toda a área agricultável do mundo. Essa porcentagem tende a crescer com o passar dos anos, devido à ação contínua do intemperismo, manejo inadequado dos solos e utilização de fertilizantes nitrogenados (UEXKULL; MUTERT, 1995).

No Brasil, o maior problema relacionado aos solos diz respeito à acidez excessiva, que atinge cerca de 70% dos solos cultivados (QUAGGIO, 2000). Em trabalho realizado por Malavolta (1985), foi constatada a presença de solos com alta acidez em todas as regiões do Brasil, sendo 75% dos solos da região Amazônica, 40% do Nordeste, 60% do Centro-Oeste e 60% da região Sul.



A acidez dos solos pode ser originada por processos tanto naturais quanto antrópicos. Uma das principais causas naturais é a composição do material de origem, onde em solos derivados de rochas pobres em bases e submetidos a longo período de intemperização, predominam no complexo de troca os cátions  $H^+$  e  $Al^{3+}$ . De forma semelhante, quando a rocha matriz é rica em bases, mas ocorre um intenso processo de pedogênese, através de uma condição de precipitação mais intensa, ao longo dos anos, pode haver grande lixiviação das bases, permanecendo no complexo de troca os cátions  $H^+$  e  $Al^{3+}$  (RAIJ, 1991). O intemperismo dos minerais de argila também leva à acidificação ao liberar alguns íons para a solução do solo, dentre eles  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$   $Mn^{2+}$  e quando estes são hidrolisados, dissociam  $H^+$  para o meio.

Outro fator natural é a protonação e desprotonação do  $H^+$  dos grupos aluminol (Al-OH) e ferrol (Fe-OH) das arestas dos minerais silicatados de estrutura laminar e dos óxidos, dependendo do pH da solução do solo (MELLO; ALLEONI, 2009). Quando o pH do solo está abaixo do ponto de carga zero (PCZ) destes radicais (aluminol = 6; ferrol = 7), ocorre desprotonação, liberando o  $H^+$  para a solução do solo.

O PCZ é definido como o valor de pH em que a adsorção de  $H^+$  e  $OH^-$  é igual. Este atributo indica as reações que ocorrem na superfície dos colóides de carga variável do solo, sendo que em condições onde o pH do solo é superior ao PCZ, o solo estará carregado negativamente, apresentando, então, capacidade de troca catiônica (CTC). Por outro lado, se o pH for menor que o PCZ, o solo terá carga positiva e apresentará capacidade de troca aniônica (CTA) (Pérez et al. 2017).

Grupos ácidos da matéria orgânica presentes nos solos apresentam-se repletos de grupos funcionais, desenvolvendo um papel fundamental na disponibilização de nutrientes e produtividade das culturas (ADELEKE, 2017). Os grupos funcionais mais importantes em relação à capacidade de produzir efeitos sobre o pH do meio, são os carboxílicos (R-COOH) e os fenólicos (R [aromáticos]-OH), e a capacidade destes grupos de liberar  $H^+$  para o meio acidificando-o também está relacionada ao seu PCZ (MELLO; ALLEONI, 2009).

A decomposição da matéria orgânica gera acidez através de diversos processos, como a produção de  $CO_2$ , que em contato com a água em solos com pH acima de 5,2, acidifica o meio. O  $NH_4^+$  produzido na decomposição da matéria

orgânica pode acidificar o solo através da reação de nitrificação, podendo liberar até  $4 \text{ H}^+$  (ERNANI, 2016).

Neste contexto, Ciotta et al. (2002) verificaram acidificação da camada superficial de Latossolo Bruno cultivado no sistema plantio direto, em relação ao manejo em plantio convencional, sendo este efeito atribuído ao acúmulo de palhada em cobertura.

A planta por sua vez, também pode acidificar o meio devido ao processo de absorção de nutrientes, uma vez que, para manter o equilíbrio eletroquímico no citoplasma das células da raiz, a planta pode alterar o pH do solo por meio da liberação de  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$ , decorrente da absorção de um cátion ou ânion, respectivamente (KAMINSKI, 2000; ERNANI, 2016).

Dentre os fatores antrópicos, destacam-se em áreas agrícolas a colheita e a adubação. A colheita e retirada de qualquer material vegetal ou grão irá exportar bases do local de cultivo, diminuindo a porcentagem de cátions em relação ao  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$  no complexo de trocas (CTC) do solo. O uso de fertilizantes de reação ácida também pode favorecer significativamente a diminuição no pH do solo. A maior alteração do pH do solo é promovida pelos fertilizantes nitrogenados amoniacais, ou por aqueles que resultam na formação de amônio no solo ao sofrer nitrificação e formar nitrato (COSTA, et al. 2008). O amônio adicionado ou formado no solo gera acidez conforme o esquema:



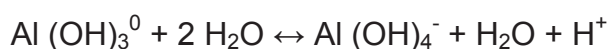
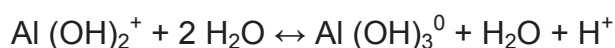
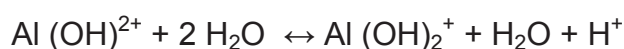
A emissão de óxidos de enxofre e nitrogênio pelas refinarias de petróleo, e outras indústrias resultam na formação de chuvas ácidas. Esses óxidos ao entrar em contato com o solo sofrem o processo de oxidação, dando origem a ácidos fortes, liberando  $\text{H}^+$  ao meio, acidificando os solos (HAMA, 2001).

## 2.2 COMPONENTES DA ACIDEZ DO SOLO

A acidez do solo pode ser dividida em duas partes, sendo uma na fase líquida e a outra na fase sólida do solo. A acidez referente à fase líquida é denominada acidez ativa, determinada pela concentração de  $\text{H}^+$  presente na solução

do solo (CATANI; GALLO, 1955). Apesar desta fração de íons  $H^+$  ser muito reduzida, ela é muito importante quimicamente e bastante ativa, pois exerce grande influência na disponibilidade dos nutrientes (LOPES, 1989).

A acidez da parte sólida do solo é denominada acidez potencial e é subdividida na fração trocável e não-trocável; A primeira refere-se ao  $Al^{3+}$  e  $H^+$  trocáveis e adsorvidos nas superfícies dos colóides de origem mineral ou orgânica, por forças eletrostáticas. A acidez trocável, também conhecida por Al trocável, é o componente mais importante para os solos intemperizados, pois ao ser deslocado dos sítios de adsorção para a solução, este cátion hidrolisa produzindo íons  $H^+$ , como mostra as reações a seguir descritas por Novais et al. (2007).



Os íons  $H^+$  da fase sólida constituem a outra parte da acidez potencial, denominada de acidez não-trocável. Essa acidez praticamente não causa nenhum problema para o crescimento da planta, pois estes íons estão retidos nas cargas negativas dos colóides por ligações covalente ou ligado à matéria orgânica do solo, sendo desprotonado apenas quando o pH do solo atingir 7, o que é bastante incomum em solos agricultáveis. Na prática, em solos com maior teor de matéria orgânica, que apresentam grande quantidade de íons  $H^+$  adsorvidos nos grupos carboxílicos e fenólicos, essa acidez representa apenas um gasto maior na quantidade de calcário a ser utilizado para a correção do solo, em função do maior poder tampão, definido como a resistência do solo em mudar de pH (NOVAIS, 2007).

A acidez potencial trocável e não trocável variam muito em relação à classe solos, em função da constituição mineralógica destes (SILVA et al. 2008). Entre os minerais, o valor da acidez trocável na acidez potencial é maior para a montmorilonita, intermediária para a vermiculita dioctaedral e menor para a caulinita, e muito reduzido nos óxidos (COLEMAN; THOMAS, 1967). Solos mais

intemperizados, com maior presença de óxidos, possuem menor acidez potencial comparados a solos que possuem em sua fração argila minerais do tipo 2:1, 2:1 VHE (Vermiculita/ Esmeclita entre camada) e 1:1 ou com um alto teor de matéria orgânica, em função do maior poder tampão.

### 2.3 EFEITO DA ACIDEZ NO SOLO E NA PLANTA

A acidez interfere diretamente nas características químicas e biológicas dos solos (OSAKI, 1990), e constitui-se em um dos maiores problemas para a agricultura em regiões temperadas, tropical e subtropical (BRADY; WEIL, 2013), diminuindo a produtividade das culturas em geral. No Brasil, cerca de 70% das áreas utilizadas para a agricultura possui problema com acidez, apresentando um pH em torno de 3,8 – 5,5 (Olmos e Camargo, 1976; Abreu et al. 2003) e tendo o  $\text{Al}^{3+}$  como o cátion mais abundante em mais de 1/3 dos solos (RHEINHEIMER et al. 2018a, b.).

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo considerado um dos elementos mais tóxicos para as plantas em sua forma trivalente  $\text{Al}^{3+}$  (RYAN, 2010). A toxidez por  $\text{Al}^{3+}$  é comumente verificada em solos que possuem o pH em água abaixo de 5,5 (RYAN; DELHAIZE, 2010); contudo, sua toxicidade se torna mais grave em pH inferior a 5,0, devido a maior solubilização dos minerais de argila (KOCHIAN et al., 2015), podendo representar em alguns solos mais de 50% da CTC (EVANS; KAMPRATH, 1970).

A presença do  $\text{Al}^{3+}$  nos solos agricultáveis do Brasil é observada com frequência (Ferreira et al., 2006), devido ao caráter ácido dos mesmos. Quanto mais baixo for o pH e maior for a concentração de espécies tóxicas de alumínio, associado à baixa disponibilidade de bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ), menor será a produtividade das culturas em geral (PAVAN et al., 1982; RITCHEY et al., 1982; Rout et al. 2001).

Bian et al. (2013), mencionam que os efeitos da toxicidade de  $\text{Al}^{3+}$  podem ser classificados como fisiológicos ou morfológicos. Os efeitos fisiológicos se referem à interação do  $\text{Al}^{3+}$  solúvel em diversos locais da célula, incluindo a parede celular, membrana celular e o citosol, enquanto os efeitos morfológicos ocorrem em diferentes partes das plantas e podem ser vistos a olho nú.

O principal efeito fisiológico da toxidez de  $\text{Al}^{3+}$  nas plantas refere-se à diminuição do processo de respiração, provocando interferência na biossíntese dos

polissacarídeos, o que resulta em uma elevada rigidez na estrutura da parede, impedindo a divisão celular (WANG et al., 2006); isto tem como consequência a formação de sistema radicular com poucas ramificações, dimensão reduzida em comprimento, grossa, quebradiça e mais escura, com reflexos na diminuição da eficiência na absorção de água e de nutrientes do subsolo (FOY, 1976; FOY et al., 1978; MERIÑO-GERGICHEVICH et al., 2010).

Já na parte aérea, os sintomas de toxidez do  $\text{Al}^{3+}$  podem variar entre as espécies de plantas (FURLANI, 1989), mas são associados geralmente à sintomas de deficiência de nutrientes (fósforo, potássio, cálcio, magnésio e molibdênio), pois o  $\text{Al}^{3+}$  interfere nos processos de absorção, translocação e transporte destes (FREITAS et al., 2006; MIGUEL et al., 2010).

A toxidez por  $\text{Al}^{3+}$  causa alterações nos processos bioquímicos das plantas (MORA et al., 2006) resultando na inibição da síntese do DNA (Wallace e Anderson, 1984), bloqueio da divisão celular (MERIÑO-GERGICHEVICH et al., 2010) e decréscimo na integridade da membrana plasmática (TAMAS et al., 2003).

Apesar dos efeitos do alumínio sobre o metabolismo das plantas ainda carecerem de mais estudos, já é de conhecimento amplo a interação existente entre o  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , sendo sua relação um fator primordial para o agravamento ou não dos sintomas de toxidez do alumínio (MERIÑO-GERGICHEVICH et al., 2010).

Quanto maior a relação  $\text{Al}/\text{Ca}$ , maiores serão os danos da toxidez nas plantas. As interações entre  $\text{Al}/\text{Ca}$  podem ocorrer de três formas, sendo a primeira associada à inibição do transporte de  $\text{Ca}^{2+}$  via simplasto, devido ao bloqueio dos canais de  $\text{Ca}^{2+}$  na membrana celular pelo alumínio, impedindo a entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  e outros cátions divalentes (PLIETH, 2005). A segunda refere-se à interferência causada pelo alumínio na homeostase do  $\text{Ca}^{2+}$  no citoplasma, desencadeando uma inibição do sinal de tradução para divisão e alongamento celular, que é dependente do  $\text{Ca}^{2+}$  (KOCHIAN, 1995; JONES et al., 1998). E a terceira, consiste no deslocamento do  $\text{Ca}^{2+}$  na forma de pectatos no apoplásto, pois o  $\text{Al}^{3+}$  possui uma força de ligação maior que o  $\text{Ca}^{2+}$ , tomando assim seu lugar na pectina, que é um dos principais componentes da parede celular (RENGEL; ZHANG, 2003).

O  $\text{Al}^{3+}$ , além de ser tóxico para as plantas, também pode competir com os nutrientes catiônicos pelos pontos de troca dos colóides do solo, diminuindo assim sua disponibilidade para o desenvolvimento das plantas (SERRAT et al., 2002).



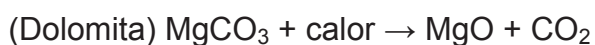
Outro fator importante de se destacar é a influência do pH na disponibilidade de nutrientes, havendo a sua diminuição para Mo, P, N, S, B, K, Ca e Mg e aumento para Cu, Fe, Mn e Zn, à medida em que o solo se torna mais ácido.

Os microrganismos presentes no solo também são afetados pela acidez, em função da diminuição da taxa de decomposição da matéria orgânica em solos mais ácidos, o que afeta mineralização de nitrogênio e de outros nutrientes (ERNANI, 2016). Por outro lado, quando é realizada a calagem, a atividade dos organismos fixadores de N e das plantas hospedeiras é favorecida, resultando em maior quantidade de N fixado (QUAGGIO, 2000).

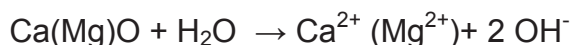
## 2.4 CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO

A acidez dos solos é neutralizada por meio de bases fracas  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{Si}_3^{2-}$  (ALCARDE, 1986). Os grupos químicos mais utilizados como corretivos do solo são os carbonatos, óxidos e hidróxidos (VARGAS et al., 2018), sendo os corretivos provenientes de rocha calcária moída os mais utilizados mundialmente (DEFRA, 2016). Os calcários têm na sua composição misturas dos minerais de calcita, dolomita e magnesita (QUAGGIO, 2000). De acordo com Tecchio et al. (2010), os calcários são classificados de acordo com a composição em MgO, em calcítico (menos de 5%), magnesiano (de 5 a 12%) e dolomítico (mais de 12% de MgO). Outros materiais corretivos podem ser utilizados, como óxidos e hidróxidos de cálcio e magnésio, silicatos provenientes de siderurgia, lodo de esgoto entre outros (VELOSO et al., 1992; RAMOS et al., 2006; VARGAS et al., 2018).

Por meio do aquecimento do carbonato de cálcio e magnésio ( $\text{CaCO}_3$ ;  $\text{MgCO}_3$ ), com o auxílio de fornos comerciais que atingem temperaturas superiores a  $900^\circ\text{C}$ , ocorre perda do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e a formação de óxido de cálcio e magnésio ( $\text{CaO/MgO}$ ) (BRADY 1989; OSAKI, 1990), conforme a reação:

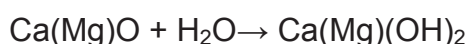


A ação neutralizante dos óxidos se deve à reação:



A  $\text{OH}^-$  é liberada imediatamente, o que confere um caráter de base forte ao CaO e MgO.

Já a cal hidratada é um produto resultante da hidratação da cal virgem, constituído por hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) e o hidróxido de magnésio ( $\text{Mg(OH)}_2$ ) (ALCARDE, 1986; FURTINI NETO et al., 2004) ilustrada na reação:



Os óxidos e os hidróxidos possuem maior solubilidade do que os carbonatos e os silicatos, o que, associado à granulometria mais fina e à força da base hidroxila, resulta na maior reatividade (ALCARDE, 1985). A reação dos óxidos com água acontece instantaneamente, transformando-se em hidróxidos, que são considerados bases fortes (ALCARDE, 1985).

A velocidade de reação dos corretivos depende de vários fatores como a acidez, teores de bases, umidade e temperatura do solo, bem como a quantidade de neutralizantes presente no material. (HOLZSCHUH, 2007). A reatividade de um corretivo também depende diretamente do tamanho de suas partículas, porém, quanto menor a granulometria, maior será o custo de moagem, o que eleva seu preço final (MOTTA; LIMA, 2006). Neste sentido, em estudo realizado com a incubação de quatro frações granulométricas (malhas de 4,00 a 2,00; 2,00 a 0,84; 0,84 a 0,30 e 0,30 a 0,21mm) de três tipos calcários (calcítico de origem sedimentar e calcítico e dolomítico de origem metamórfica), em dois solos (Latossolo Vermelho-Escuro álico franco-areno-argiloso e Latossolo Roxo distrófico muito argiloso), Kurihara et al. (1999) constataram que não só a granulometria, mas também a natureza geológica do corretivo, bem como o tipo de solo influenciaram a eficiência relativa dos corretivos.

De acordo com Osaki (1990), a medida química que diz respeito à reatividade do corretivo, em função da quantidade de carbonato que tem condição de reagir com os ácidos do solo é definida como valor de neutralização, também denominado como poder de neutralização. No intuito de se obter um indicador do

potencial de corretivo agrícola em efetivamente corrigir a acidez em um período de dois a três anos, associou-se os parâmetros relacionados ao poder de neutralização e à reatividade do corretivo, dando origem ao índice denominado como poder relativo de neutralização total (PRNT) (KAMINSKI, 2000).

Os ânions resultantes da dissociação dos neutralizantes dos corretivos de acidez do solo ( $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$ ) reagem com os prótons da solução do solo resultando na neutralização do  $\text{Al}^{3+}$ , e na formação das espécies iônicas  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$  e  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ . Devido a essa reação, ocorre a dessorção do  $\text{Al}^{3+}$  fracamente adsorvido e até mesmo do hidrogênio dos grupos funcionais. Assim, essas reações são limitadas aos locais onde as partículas corretivas entram em contato com o solo (KAMINSKI et al., 2005; WEIRICH NETO et al., 2000).

Os efeitos benéficos do calcário aplicado à lanço, sem incorporação, no Sistema Plantio Direto, podem ser observados a curto prazo para as camadas superficiais do solo (ALLEONI et al., 2005; CAIRES et al., 2006; PÖTTKER; BEN, 1998; RHEINHEIMER et al., 2000; TIRITAN et al., 2016). No entanto, a correção da acidez das camadas mais profundas do solo é muito lenta, especialmente em solos que possuem carga variável dependente de pH (FRAGERIA; NASCENTE, 2014).

O corretivo aplicado superficialmente promove a formação de uma frente de alcalinização que se move verticalmente no perfil do solo com o passar do tempo. Esta frente de alcalinização é provocada pelo aumento significativo do pH na camada de solo onde o corretivo foi aplicado, diminuindo drasticamente a solubilização do mesmo, inibindo assim, sua função corretiva, o produto aplicado só irá se movimentar verticalmente no solo e conseguir corrigir as camadas mais profundas do perfil quando passar fisicamente por esta camada corrigida. A movimentação do corretivo através desta frente alcalinizante depende do tempo, quantidade de produto aplicado, forma de aplicação, bem como do sistema de cultivo, características do solo, condições climáticas e da adição de fertilizantes ácidos (DE OLIVEIRA; PAVAN, 1996; GATIBONI et al., 2003; FRANCHINI et al., 2004; KAMINSKI et al., 2005; COSTA; ROSOLEM, 2007; LIMOUSIN; TESSIER, 2007; FRAGERIA; BALIGAR, 2008; FLOR; CRABTREE, 2011; COSTA, 2012; CASTRO; CRUSCIOL, 2013; MARTINS et al., 2014; PAULETTI et al., 2014; CAIRES et al., 2015; CRUSCIOL et al., 2016).

## 2.5 MÉTODOS PARA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM

No Brasil, são utilizados vários métodos para se fazer a recomendação de calagem. Porém, os principais são o método pela neutralização do  $\text{Al}^{3+}$ ; solução tampão SMP e saturação por bases, podendo haver alguma modificação nas diferentes regiões produtoras do País.

O método mais simples é aquele que visa a neutralização do alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), que é considerado um dos principais componentes da acidez dos solos (KAMPRATH, 1970). A fórmula utilizada é a seguinte (LOPEZ et al., 1991):

$$\text{Necessidade de calcário em ton ha}^{-1} (\text{NC}) = \text{Al}^{3+} \times F$$

Onde,

$F = 1,5$  para solos onde se cultivam culturas mais tolerantes à acidez

$F = 2,0$  para solos onde se cultivam culturas não tolerantes à acidez

Deve-se considerar que a dose de calcário calculada por esse método é insuficiente para se elevar o pH a um nível considerado adequado para a maioria das culturas. Variações deste método são utilizadas em diversas regiões no Brasil. Essas visam a neutralização do alumínio trocável e/ou a elevação dos níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis e são apresentadas a seguir:

Espírito Santo, Goiás e Cerrado (CFSES, 1977; LOPES, 1983; CFSG, 1988):

$$\text{NC (ton ha}^{-1}\text{)} = [2 \times \text{Al} + (2 - \text{Ca} + \text{Mg})]$$

Minas Gerais (LOPES; GUIMARÃES, 1989):

$$\text{NC (t/ha)} = \{(\text{Y} \times \text{Al}) + [\text{X} - (\text{Ca} + \text{Mg})]\}$$

ou

$$\text{NC (ton ha}^{-1}\text{)} = \{ \text{Y} \times [\text{Al} - (\text{mt.t/100})] + [\text{X} - (\text{Ca} + \text{Mg})] \}$$

Onde:

$mt$  = máxima saturação por  $Al^{3+}$  tolerada pela cultura

$t$  = CTC efetiva, em  $cmolc/dm^3$

$Y$  é variável em função da textura do solo,

$Y = 1$  para solos arenosos (< 15% de argila)

$Y = 2$  para solos de textura média (15 a 35% de argila)

$Y = 3$  para solos argilosos (> 35% de argila)

$X$  é variável em função da exigência da cultura.

$X = 2$  para a maioria das culturas

$X = 1$  para eucalipto.

$X = 3$  para cafeeiro.

O método baseado na solução tampão SMP é o mais utilizado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O princípio deste método é indicar a necessidade de calagem para se atingir um pH 6, sendo utilizada uma tabela estabelecida a partir da incubação de diferentes tipos de solos com  $CaCO_3$  (Tabela 1), onde a quantidade de calcário é definida em função do valor de pH SMP atual, (SHOEMAKER et al., 1961). O método consiste em agitar a quantidade de 10  $cm^3$  de solo com um volume 5 ml da solução tampão a pH 7,5 por 15 minutos e realização da leitura em peagâmetro após uma hora de repouso da solução. Apesar de ser muito eficiente este método se mostrou falho em solos que possuem poder tampão baixo ou em solos que necessitam de uma dosagem de calcário inferior a 4 t  $ha^{-1}$ , sendo então modificado por Raij et al. (1979), que acrescentaram na tabela a necessidade de calagem para se atingir o pH 5,5. Raij et al. (1979) observaram também uma correlação entre os valores do pH SMP e a acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) o que facilitou muito a determinação analítica devido a sua facilidade de execução, associado ao fato de que pode ser realizada após a leitura de pH em água ou em  $CaCl_2$ .



TABELA 1 - RECOMENDAÇÕES DE CALCÁRIO (PRNT = 100%) PARA CORRIGIR A ACIDEZ, VISANDO ELEVAR O PH EM ÁGUA A 5,5, 6,0 E 6,5 PELO ÍNDICE SMP.

pH da suspensão solo: solução SMP	NECESSIDADE DE CALAGEM PARA		
	pH 6,5	pH 6	pH 5,5
CaCO <sub>3</sub> t/ha x 20 (cm)			
6,9	0,4	x	x
6,8	0,8	x	x
6,7	1,2	0,3	x
6,6	1,5	0,5	x
6,5	2	0,7	0,1
6,4	2,3	0,9	0,2
6,3	2,8	1,1	0,3
6,2	3,3	1,4	0,5
6,1	3,8	1,8	0,7
6	4,5	2,2	0,9
5,9	5,2	2,7	1,1
5,8	6,1	3,2	1,4
5,7	6,9	3,8	1,7
5,6	7,9	4,4	2
5,5	8,9	5,1	2,4
5,4	10,1	5,8	2,8
5,3	11,2	6,7	3,2
5,2	12,5	7,6	3,7
5,1	13,8	8,5	4,4
5	15,3	9,5	5
4,9	16,7	10,5	5,5
4,8	18,3	11,6	6,1

FONTE: Rajj et al. (1979).

O método da saturação por bases (QUAGGIO, 1983) baseia-se na relação existente entre este atributo e o pH do solo. Esta relação primeiramente foi observada em estudo realizado por Catani e Gallo (1955), onde os autores identificaram que ao atingir o V% de 70 até 85, o pH do solo atingiu a faixa ideal de 6,5. Este método é mais utilizado para os estados do Paraná, São Paulo e Mato grosso do sul, com fórmula descrita a seguinte :

$$NC: [(V2-V1) \times T \times f] / 100$$

Onde,

T: capacidade de troca de cátions ou  $S + (H+Al)$  em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$

S: soma de bases trocáveis (Ca + Mg + K) em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$

V2: saturação por bases desejada.

V1: saturação por bases fornecida pela análise de solo.

F: 100/PRNT do corretivo

PRNT: poder relativo de neutralização total do corretivo.

## 2.6 IMPORTÂNCIA DA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM PROFUNDIDADE

Conforme discutido anteriormente, os corretivos de acidez em geral possuem baixa mobilidade no solo, o que pode ocasionar restrições para o crescimento radicular das plantas nas camadas subsuperficiais do solo. A acidez subsuperficial está presente na maioria dos solos do Brasil (RAMPIM et al., 2011), sendo um dos principais limitantes do crescimento radicular em profundidade, especialmente pela presença de  $\text{Al}^{3+}$  e falta de  $\text{Ca}^{2+}$  em profundidade. Quanto mais profundo o sistema radicular, maior é a quantidade de água disponível para as plantas e maior será a área de contato solo/raiz, possibilitando assim maior tolerância aos veranicos e maior absorção de nutrientes por interceptação radicular.

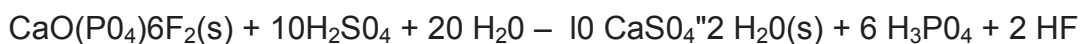
Neste contexto, Kaminski (2000) recomenda para a correção das camadas subsuperficiais do solo, a utilização da incorporação mecânica do corretivo ou o uso do gesso agrícola. O gesso é uma opção para a melhoria do ambiente radicular na subsuperfície porque é constituído por sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), que propicia a movimentação de cátions básicos no perfil, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , de maneira a resultar no aumento da saturação por bases em profundidade e, conseqüentemente, a diminuição da saturação por alumínio. (SORRATO, CRUSCIOL, 2008).

## 2.7 GESSO

### 2.7.1. Origem do gesso

Nas últimas décadas, tem se observado uma intensificação na demanda por produtos que possam ser utilizados na agricultura para melhorar a qualidade química dos solos, proporcionando assim melhor aproveitamento dos recursos naturais e melhorando a produtividade das culturas. Neste contexto, a utilização do gesso agrícola, tem aumentado consideravelmente, em função da sua disponibilidade como resíduo da indústria de fertilizante fosfatado e da sua facilidade de aplicação, uma vez que este insumo pode ser distribuído a lanço, sem a necessidade de incorporação com algum implemento. O sulfato de cálcio pode ser encontrado em sua forma natural ( $\text{CaSO}_4$ ) em alguns minerais presentes em rochas sedimentares, sendo formadas através da evaporação de antigos oceanos ou pela sedimentação e acumulação de minerais (JORGENSEN, 1994). Os principais minerais que contêm o sulfato de cálcio são a anidrita e a gipsita, sendo a última, o mineral com melhores características para ser usado tanto na indústria, como na agricultura (VELHO et. al., 1998).

O sulfato de cálcio dihidratado, também conhecido como fosfogesso, é um subproduto da fabricação do ácido fosfórico, gerado em quantidade de quatro a cinco vezes maior do que o produto de interesse (VITTI et al., 2008); neste processo a rocha fosfatada recebe o ataque do ácido sulfúrico, tendo como subproduto final o gesso agrícola ( $10\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), conforme a reação abaixo, descrita por Shainberg et al. (1989).



No Brasil, um dos primeiros trabalhos de pesquisa a serem realizados com o gesso foi desenvolvido na década de 70 por Ritchey et al. (1980), que observaram na região Centro Oeste do Brasil, incrementos no crescimento do sistema radicular do milho, associado ao aumento da disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e dos valores de pH em profundidade, bem como um significativo decréscimo na saturação de alumínio, após a utilização do superfosfato simples. A partir deste trabalho,

desencadeou-se uma série de estudos sobre o uso de gesso agrícola em diversas regiões do Brasil.

#### 2.7.2. Indicações técnicas para a definição da quantidade de gesso a ser aplicada

A quantidade de gesso a ser utilizada é dependente da finalidade desejada, bem como da textura do solo, da espécie vegetal a ser cultivada, da disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+}$ , da saturação por alumínio ou por sódio, e da condutividade elétrica na subsuperfície do perfil. Sousa et al. (1997) indicam a aplicação do gesso agrícola quando o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  for menor que  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de solo nas camadas de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm ou quando a saturação por alumínio for maior que 20%. Quando a utilização do gesso tem como finalidade exclusiva o fornecimento de enxofre, Vitti (2000), sugere que seja feita aplicação do insumo somente quando o teor deste nutriente seja inferior ao nível crítico ( $15 \text{ mg dm}^{-3}$  na camada de 0-20 cm).

As quantidades de corretivo a serem aplicadas para a recuperação dos solos salino-sódicos ou sódicos, é basicamente determinada por métodos laboratoriais descritos por Schoonover (1952) ou pelo método modificado (Schoonover M-1) descrito por Barros e Magalhães (1989); ou então, em função da percentagem de sódio trocável (PST) e da capacidade de troca de cátions (CTC) presente no solo. Para este objetivo, em geral recomenda-se aplicar gesso quando a condutividade elétrica for maior que 4 e menor que  $7 \text{ dS m}^{-1}$  ou quando a saturação por sódio for maior ou igual a 15%.

De acordo com Sousa e Lobato (2004), para o uso do gesso com a finalidade de melhoria do perfil dos solos, as doses podem ser estabelecidas em função do tipo de cultura a ser cultivada (anual ou perene) e do teor de argila, considerando-se valores pré-estabelecidos (entre  $700$  e  $4.800 \text{ kg ha}^{-1}$ ), ou então, conforme as equações:

a) Culturas anuais:

NG:  $50 \times \text{argila (\%)} \text{ ou } 5,0 \times \text{argila}(\text{g kg}^{-1})$ ;

b) Culturas perenes:

NG:  $75 \times \text{argila (\%)} \text{ ou } 7,5 \times \text{argila}(\text{g kg}^{-1})$

Sendo: NG = necessidade de gesso ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

De acordo com Sousa e Lobato (2004), quando o uso do gesso tem a finalidade de melhoria do perfil dos solos, as doses podem ser estabelecidas em função do tipo de cultura a ser cultivada (anual ou perene) e do teor de argila (Tabela 2), considerando-se valores pré-estabelecidos.

TABELA 2 - RECOMENDAÇÃO DE GESSO EM FUNÇÃO DA TEXTURA DO SOLO PARA CULTURAS ANUAIS E PERENES.

Textura do solo	Dose de gesso agrícola (ton ha <sup>-1</sup> )	
	Culturas anuais	Culturas perenes
Arenosa (< 15% argila)	700	1.050
Média (16% a 35% argila)	1.200	1.800
Argilosa (36% a 60% argila)	2.200	3.300
Muito argilosa (> 60% argila)	3.200	4.800

FONTE: Souza; Lobato (2004).

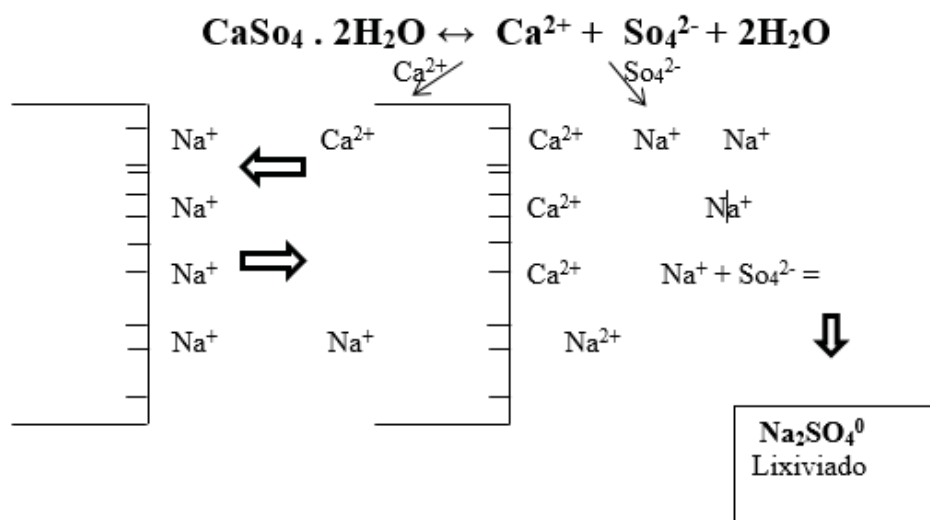
Por outro lado, Vitti et al. (2008) indicam o uso do gesso em doses variando entre 1,0 e 3,5 ton ha<sup>-1</sup>, dependendo do valor da CTC e da saturação por bases do solo.

#### 2.7.2. Utilização do gesso.

Em algumas regiões do nordeste brasileiro, o gesso é basicamente utilizado para correção de solos salinos e sódicos (QADIR et al., 1996; RAMIREZ et al., 1999), caracterizados pela presença de sais solúveis em concentração suficiente para prejudicar o desenvolvimento das culturas. Esta concentração é medida em termos de condutividade elétrica, sendo definido como solo salino quando os valores forem maior que 4 e menor que 7 dS m<sup>-1</sup>. Já solos com saturação por sódio maior ou igual a 15%, valor suficiente para inibir o crescimento e desenvolvimento vegetal de várias espécies, são caracterizados pelo caráter sódico (SILVEIRA et al. (2008 e BARROS et al., 2009).

A correção dos solos salino-sódicos e sódicos é baseada na remoção do excesso de sódio trocável presente nos colóides do solo, associada a substituição por outro cátion, desta forma o sódio é deslocado para a solução do solo e removido por meio da lixiviação (BARROS et al., 2004). Desta forma, aplica-se gesso para que

o sódio faça par iônico com o sulfato na solução do solo, formando  $\text{NaSO}_4$ , conforme esquema abaixo:



Diversos foram os trabalhos realizados, mostrando a eficácia do gesso agrícola na recuperação de solos com elevados teores de Na<sup>+</sup> (FATTAH, 2012; RASOULI et al. 2012). Cucci et al. (2012), estudando dois solos salino-sódicos na Itália, obtiveram uma diminuição na condutividade elétrica (12,34 para 3,66 dS m<sup>-1</sup>) e na porcentagem de sódio trocável (50,93 para 41,41%) com a utilização do gesso. Na Coréia do Sul, Kim et al. (2017), estudando três solos de diferentes localidades da região costeira, observaram, além da diminuição da condutividade elétrica e porcentagem de sódio trocável, a melhoria das características físicas destes solos pelo gesso, melhorando a porosidade, tamanho e a estabilidade dos agregados.

Na região Nordeste brasileira, trabalhos relacionados com a dessalinização dos solos pela aplicação do gesso também são verificados. Barros et al. (2005), trabalhando com solos salino-sódicos do Perímetro Irrigado de Custódia, PE, relataram a eficácia do gesso no deslocamento do sódio trocável do complexo de troca. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2014) na região irrigada de Ibimirim, PE, em estudo em colunas de lixiviação, onde concluíram que a aplicação de 100% da necessidade de gesso descrita pelo método Schoonover M-1 foi suficiente para a correção do sódio. Já Barros et al. (2009), estudando a influência do gesso na cultura do feijão-caupi cultivado em solos salino-sódicos do perímetro irrigado de Custódia-PE, constataram que a aplicação de gesso



incorporado ao solo, foi eficaz no aumento da percentagem de germinação e na produção de matéria seca da cultura.

Outra utilização comum do gesso agrícola refere-se à melhoria das características químicas das camadas mais profundas do perfil do solo. Neste sentido, a aplicação do gesso pode atuar como uma complementação à calagem, podendo compensar o efeito superficial do calcário, pois atua até no subsolo, sem a necessidade de incorporação (CAIRES et al., 2003). Mesmo não tendo efeito direto na correção do pH (VELOSO et al., 1992; MEURER et al. 2004), o gesso reage com o  $\text{Al}^{3+}$  precipitando-o (ZAMBROSI et al., 2007) e fazendo com que ele fique em formas menos tóxicas ( $\text{AlSO}_4^+$ ), além de aumentar os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e S no subsolo (NEIS et al., 2010), sendo assim considerado um condicionador do solo (RAIJ, 2008).

O gesso possui uma solubilidade 150 vezes maior que o calcário (VITTI, 2000), o que facilita na sua movimentação em profundidade no solo. Quando aplicado ao solo e tendo umidade suficiente para reagir, se dissocia liberando  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Uma vez na solução do solo, o  $\text{Ca}^{2+}$  proveniente da dissolução do gesso pode interagir com o complexo de troca, deslocando cátions, como alumínio, potássio e magnésio, para a solução, por sua vez, estes podem reagir com o  $\text{SO}_4^{2-}$  formando  $\text{AlSO}_4^+$  (que é menos tóxico às plantas) e os pares iônicos neutros:  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$ ,  $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  (RAIJ, 2010). Dada a sua neutralidade, os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil do solo, ocasionando um deslocamento de cátions para as camadas mais profundas, o que contribui para a elevação dos teores desses elementos em profundidade, resultando em melhor crescimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas. Isso irá permitir que as plantas superem períodos de déficit hídrico e usem mais eficientemente os nutrientes aplicados ao solo (CARVALHO; RAIJ, 1997).

## 2.8 REFERÊNCIAS

- ABREU JR.; C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian Soils. **Scientia Agricola**, v.60, p.337-343, 2003.
- ADELEKE, A. O.; AZIZ, A.; LATIFF.; DAUD, Z. Optimization of operating parameters of novel composite adsorbent for organic pollutants removal from POME using response surface methodology. **Chemospher**, v.174, p.232–242, 2017.
- ALCARDE, J. C; Características de acidez dos corretivos do solo. In: ALCARDE, J. C; QUAGGIO, J. A; DALLMEYER, A. U; MIALHE, L. G; TOURINO, C; SANTOS, C. V. S; MATTOS, Z. P. B. **Simpósio sobre aplicação de calcário na agricultura**. Ipanema: Fundação Cargill, 1986. p. 1-20.
- ALCARDE, J. C; Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In ABRAHÃO, O; ALCARDE, J. A; AMARAL, C. M; AMARAL, V. B; BARROS, G. S. C; QUAGGIO, J. A; MALAVOLTA, E; MELLO, F. A. F; NEVOEIRO, D. F; ROCHA, M; VITTI, G. C. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: R. Vieira gráfica e editora LTDA, 1985. p. 97-117.
- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características de quantidade**. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. Piracicaba: Fundação Cargill, 1985. p. 97-119.
- ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.27, n.4, p.729-737, 2005.
- BARROS, M. de F. C.; BEBE, F. V.; SANTOS, T. O.; CAMPOS, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, p. 77-82, 2009.
- BARROS, M. DE F. C.; SANTOS, P. M. DOS; SILVA, A. J. Recuperação de solos afetados por sais usando água de qualidade inferior. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.310-313, 2005.
- BARROS, M. DE F. C.; SANTOS, P. M.; MELO, R. M.; FERRAZ, F. B. Avaliação de níveis para correção da sodicidade de solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.1, p.17-21, 2006.
- BARROS, M. F. C.; BEBÉ, F. V.; SANTOS, T. O.; CAMPOS, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 1, p. 77-82, 2009.
- BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; LANTMANN, Á. F. **Considerações sobre o uso de gesso na agricultura**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1987. 5p. (Comunicado técnico, n. 40).
- BORTOLUZZI, E. C.; PÉREZ, C. A. S.; ARDISSON, J. D.; TIECHER, T.; CARNER, L. Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. **Applied Clay Science**, v. 10, p.196-204, 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. - Porto Alegre: Bookman, 2013.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. R. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CARVALHO FILHO, A.; INDA, A. V.; FINK, J. R.; CURI, N. Iron oxides in soils of different lithological origins in Ferriferous Quadrilateral (Minas Gerais, Brazil). *Applied Clay Science*, v.118, p.1-7, 2015.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v.192, p.37-48, 1997.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 673–681, 2013.

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da Exigência em Calcário dos Solos do Estado de São Paulo, Mediante Correlação entre o pH e a Porcentagem da Saturação de Bases. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v, 30, p.49-60, 1955.

CFSES-COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Recomendações do uso de fertilizantes para o Estado do Espírito Santo**. 1ª aproximação. Vitória: DEMA-ES, 1977. 48p.

CFSG-COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás**. 5ª aproximação. Goiânia: UFG/EMGOPA, 1988. 101 p. (Informativo Técnico, 1)

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1055-1064, 2002

COLEMAN, N. T.; THOMAS, G. W. The Basic Chemistry of Soil Acidity. In: PEARSON, R. W.; ADAMS, F. **Soil Acidity and Liming**. Madson: American Society of Agronomy, 1967. p. 1-41.

COLLINGS, G. H. **Comercial fertilizants**: their sources and use. 5ª ed. New York: McGraw-Hill, 1955.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil and Tillage Research**, v.97, p.207-217, 2007.

COSTA, F. X.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M.; NUNES JÚNIOR, E. S.; DAMACENO, F. A. V.; GUIMARÃES, M. M. B.; LUCENA, A. M. A.; TRESENA, N. L.;

MADEIROS, L. B.; DUTRA, R. C.; SILVA, F. M. O. Modificações ocorridas no ambiente edáfico causadas pela compactação e adição de torta de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador, **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARTIGIANI, A. C. C. A.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. F. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, v. 137, p.87-99, 2016.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: Do autor, 2ª ed., v.1, 2016. 256 p

ERNANI, P. R; BAYER, C; ALMEIDA, J. Á; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.393-402, 2007.

EVANS, C. E; KAMPRATH, E. J. Some response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. **Soil Science Society of America**, v.3, p.893-896, 1970.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; MORAES L. A. C.; MORAES, M. F. Influence of lime and gypsum on yield and yield components of soybean and changes in soil chemical properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 20, p. 271-283, 2014.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; BAVARESCO, J.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil Tillage Research**, v.155, p.62-68, 2016.

FOY, C. D.; CHARNEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 29, p.511-566, 1976.

FOY, C. D.; FLEMMING, A L. The physiology of plant tolerences to excess available Al and Mn in acids soils. In: JUNG, G. A. **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madson: American Society of Agronomy Special Publication, 1978. p.301- 328,

FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R. O.; ZIMMER, P. D.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Revista Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 72-79, 2006.

FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.73 -90.

FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Fertilization in native species reforestation. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p.347-378.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G. Superphosphate and rock phosphates as P-source for grass-clover pasture on a limed acid soil of Southern Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.42, n.17-18, p.1-12, 2007.

HOLZSCHUH, M. J. **Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

JORGENSEN, D. B. Gypsum and anhydrite. In: CARR, D. D. **Industrial mineral sand rocks**. Colorado: SMME, 1994. p. 571-581.

KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBSCS-Núcleo Regional Sul, 2000. 123p. (SBSCS-Núcleo Regional Sul, Boletim Técnico, 4).

KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.34, p.252-254, 1970.

KENNEDY, I. R. **Acid Soil and Acid Rain**. England: John Willey & Sons, 1986.

KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFERR, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. 343p.

KOCHIAN, L. V.; PIÑEROS, M. A.; LIU, J.; MAGALHAES, J. V. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 66, p.571–598, 2015.

KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; HERNANI, L. C.; SILVA, W. M. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcários Sul-Mato-Grossenses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p.1443-1449, 1999.

LIMOUSIN, G.; TESSIER, D. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p.167-174, 2007.

LOPES, A. S.; GUIMARÃES, P. G. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 4ª aproximação. Lavras: CFSEMG, 1989. 176p.

LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”, características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1983. 162p.

MALAVOLTA, E; Reação do solo e crescimento das plantas. In: ABRAHÃO, I. O; ALCARDE, J. A; AMARAL, C. M; AMARAL, V. B; BARROS, G. S. C; QUAGGIO, J. A; MALAVOLTA, E; MELLO, F. A.F; NEVOEIRO, D. F; ROCHA, M; VITTI, G. C. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: R. Vieira gráfica e editora LTDA, 1985. p. 3-57.

MARTINS, S. I.; CAZETTA, O. J.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 271-279, 2014.

MC BRIDE, M. B. Reactions controlling heavy metals in soils. **Advances in Soil Science**, v.10, p.1-56, 1989.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo. Viçosa: SBCS, 2009.

MERIÑO-GERGICHEVICH, C.; ALBERDI, M.; IVANOV, A. G.; REYES-DÍAZ, M.  $Al^{3+}$ - $Ca^{2+}$  interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendments. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, p. 217-243, 2010.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; CARMONA, F. de C. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 149 -169.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; DA ROCHA, W. S. D.; MATINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, P. 11-30, 2010.

MOTTA, A. C. V; LIMA, M. R. de. Princípios de calagem. In: LIMA, M. R. de; SIRTOLI, A. E; MOTTA, A. C. V; OLIVEIRA, A, C, de; SERRAT, B. M. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo**: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR/Setor Ciências Agrárias, 2006. p.191-222.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007, p.471-550.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v.38, p.47-57, 1996.

OLMOS, I. L. J.; CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, v. 28, p.171-180, 1976. OSAKI, F. Calagem e adubação. Curitiba: [s.n], 1990. 503 p.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisol and Oxisols amended with  $CaCO_3$  and  $CaSO_4$ . **Soil Science Society of America**, v.46, p.1201-1207, 1982.

PLIETH, C. Calcium: just another regulator in the machinery of life? **Annals of Botany**, v. 96, n.1, p.1-8, 2005.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.675-684, 1998.

PROCHNOW, L. I. **Avaliação e manejo da acidez do solo**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2014. 6p. (Informações Agrônômicas, Nº 146).



QADIR, M.; QURESHI, R. H.; AHMAD, N. Reclamation of a salinesodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. **Geoderma**, v.74, p.207-217, 1996.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.

QUAGGIO, J. A. Métodos de laboratório para calagem em solo. In: RAIJ, B. Van.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, N. M. Acidez e calagem no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., Campinas, 1983. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.33-48.

RAIJ, B. Van; CANTARELA, H.; ZULLO, M. A. T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 38, n. 7, p. 57-69, 1979.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. Van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233 p.

RAMIREZ, H.; RODRIGUEZ, O.; SHAINBERG, I. Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate. **Soil Science**, v.164, p.351-357, 1999.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. SARTORI. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p. 849-857, 2006.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p. 1687-1698, 2011.

RASOULI, F.; POUYA, A. K.; KARIMIAN, N. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. **Geoderma**, v.193-194, p.246-255, 2013.

RENGEL, Z.; ZHANG, W. H. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminum-toxicity syndrome. **New Phytologist**, v. 159, p. 295-314, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, GUSTAVO. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018a.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; SANTANNA, M. A.; BRUNETTO, G.; DA SILVA, L. S. Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South Brazilian Campos. **Soil & Tillage Research**, v. 180, p. 222-231, 2018b.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, v. 133, p.378-382, 1982.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, v.72, 40-44, 1980.

RYAN, P. R.; DELHAIZE, E. The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency. **Functional Plant Biology**, v.37, p.275–284. 2010

SCHOONOVER, W. R. **Examination of soils for alkali**. Berkeley: University of California. Extension Service, 1952. Mimeographed.

SERRAT, B. M.; LIMA, M. R.; GARCIA, C.E.; FANTIN, E. R.; CARNIERI, I. M. R. S. A.; PINTO, L. S. **Conhecendo o solo**. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2002. 27p

SHAINBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A. & FEY, M. V. Use of gypsum on soils. **A Review Advance Soil Science**, v. 9, p.1-111, 1989.

SHOEMAKER, H. E.; MCLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America**, v.25, p.274-277, 1961.

SHOEMAKER, H. E.; MCLEAN, E. O.; PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America**, v. 25, p.274-276, 1961.

SILVA, E. B.; COSTA, H. A. O.; FARNEZI, M. M. M. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.751-757, 2006.

SILVEIRA, K. R.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; HECK, R. J.; SILVEIRA, R. R. Gypsum saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. **Scientia Agrícola**, v.65, p.69-76, 2008.

SORRATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.675-688, 2008.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004.

TECCHIO, M. A.; TERRA, M. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; PIRES, E. J. P.; MOURA, M. F. **Nutrição, calagem e adubação da videira**. Em: Silvana Catarina Sales Bueno. (Org.). Vinhedo paulista. 1ed.Campinas/SP.: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 2010. v. único, p. 131-153.

VELHO, J.; GOMES C.; ROMARIZ, C. **Minerais Industriais**. Universidade de Aveiro, 1998. 591p.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. J. M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, v.49, n.1, p.123- 128, 1992.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H.de C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. de E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008.

WANG, J. K.; LIU, J. X.; LI, J. Y.; WU, Y. M.; YE, J. A. Histological and rumen degradation changes of rice straw stem epidermis as influenced by chemical pretreatment. **Animal Feed Science and Techonolog**, v. 136, p. 51-62, 2007.

WEIRICH NETO, P.H.; CAIRES, E.F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v.30, p.257-261, 2000.

ZAMBROSI, F. C. B; ALLENONI, L. R. F; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural** [online], v.37, n.1, p. 110-117, 2007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782007000100018&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782007000100018&script=sci_abstract&tlng=pt).

### **3. CAPÍTULO II: APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CORRETIVOS E CONDICIONADOR NA CORREÇÃO DA ACIDEZ E MOVIMENTAÇÃO DE CATIONES NO PERFIL DO SOLO**

#### **RESUMO**

A aplicação dos corretivos de acidez muitas vezes é feita em superfície sem incorporação, e por esta razão é preciso conhecer a ação corretiva e a mobilidade dos íons no perfil do solo desta prática. A proposta deste trabalho foi avaliar o desempenho de produtos corretivos de solo, com diferentes granulometrias e tempo de reação, quanto à lixiviação de nutrientes em solos com texturas diferentes. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola na UFPR. Utilizou-se 16 tratamentos, sendo estes uma combinação entre dois solos, um Latossolo e um Neossolo, e oito corretivos, o controle sem aplicação de corretivo, calcário calcinado grosso; gesso + óxido de magnésio; calcário calcinado fino; carbonato de cálcio; calcário filler; calcário dolomítico e gesso + carbonato de cálcio. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os corretivos foram aplicados na superfície do solo colocado em colunas de lixiviação de 60 cm de altura. Os solos foram coletados nas camadas 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, e colocados na coluna na mesma ordem. Chuvas de 100 mm foram simuladas com água deionizada aos 5, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação dos produtos, e o lixiviado foi coletado e analisado quanto à concentração de nutrientes. Após 120 dias da aplicação, as colunas foram abertas e o solo coletado nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm, foi seco e analisado quimicamente. O teor do  $\text{Al}^{3+}$  na camada 0-5 cm foi praticamente anulado com a aplicação de todos os corretivos. Foi observado aumento significativo da concentração  $\text{Ca}^{2+}$  na camada superficial de ambos os solos. A lixiviação de bases foi distinta entre os solos estudados.

Palavras-chave: Deslocamento no perfil. Solução do solo. Calcário. Gesso. Calcário calcinado.

## ABSTRACT

The application of acid correctives is often done on a surface without incorporation, so it is necessary to know the corrective action and the mobility of the ions in the soil profile of this technique. The purpose of this study was to evaluate the performance of soil correctives, with different particle sizes and reaction time, as the nutrient leaching in soils with different textures. The experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Soil and Agricultural Engineering at UFPR. It was used 16 treatments, being a combination between two soils, an Oxisol and a Neosol, and eight correctives, the control without application of corrective, calcined limestone with coarse granulometry; gypsum + magnesium oxide; calcined limestone with fine granulometry; calcium carbonate; limestone filler; dolomitic limestone and gypsum + calcium carbonate. A completely randomized design with three replicates was used. The correctives were applied to the soil surface placed in leach columns of 60 cm in height. Soil samples were collected in layers 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm, and placed in the column in the same order. 100 mm rains were simulated with deionized water at 5, 30, 60, 90 and 120 days after application of the products, and the leachate was collected and analyzed for nutrient concentration. After 120 days of application, the columns were opened and the soil collected at depths 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 and 50-60 cm, dry and chemically analyzed. The content of  $\text{Al}^{3+}$  in the 0-5 cm layer was practically canceled with the application of all the correctives. A significant increase of the  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the surface layer of both soils was observed. Base leaching was different among soils studied.

Keywords: Base movement in the soil profile. Soil solution. Limestone. Gypsum. Calcined limestone.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A correção da acidez é uma prática agrícola essencial para manutenção da fertilidade dos solos. Quando realizada de maneira correta e aliada a uma boa adubação, permite maximizar a eficiência de utilização dos nutrientes e diminuir a atuação de elementos tóxicos, de maneira a proporcionar altos rendimentos das culturas.

No Brasil, é comum encontrar em praticamente todas as regiões agricultáveis a presença de solos com características ácidas. De acordo com Rheinheimer et al. (2000), cerca de 75% das possíveis áreas agricultáveis possuem problemas com acidez, apresentando pH em torno de 3,8 – 5,5 (ABREU et al., 2003) e tendo o  $\text{Al}^{3+}$  como o cátion mais abundante em mais de 1/3 dos solos.

A acidez interfere diretamente nos químicos e biológicos dos solos (OSAKI, 1990), sendo um dos maiores problemas para a agricultura em regiões temperadas, tropical e subtropical (BRADY; WEIL, 2013), por interferir negativamente na produtividade das culturas em geral.

Esta acidificação pode provir de fenômenos naturais, como altas taxas pluviométricas e elevadas temperaturas, que resultam na dessilicação e remoção das bases trocáveis dos solos, dando espaço ao  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  (SOUSA et al., 2007). Outras causas naturais para a acidificação de um solo podem ser a atividade microbiana, a mineralização da matéria orgânica, ou o processo de balanço catiônico no interior da planta, que libera  $\text{H}^+$  para a solução do solo (MALAVOLTA, 1985; SANTANA et al., 2010).

A atividade do  $\text{H}^+$  na solução do solo não é considerado um fator limitante ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, desde que haja suprimento adequado dos nutrientes e ausência de elementos passíveis de serem tóxicos às plantas. Contudo, essas condições geralmente não são observadas, pois, em solos ácidos, normalmente encontra-se teores tóxicos de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  e deficiência de bases trocáveis como o  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  (SOUSA et al., 2007), podendo ocorrer deficiência nutricional as culturas.

A toxidez por alumínio causa modificações fisiológicas e alterações nos processos bioquímicos das plantas (MORA et al., 2006). Como exemplos, tem-se a inibição da síntese do DNA (Wallace e Anderson, 1984), o bloqueio da divisão

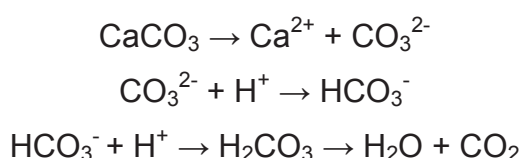


celular (MERIÑO-GERGICHEVICH et al., 2010) e o decréscimo na integridade da membrana plasmática (TAMAS et al. 2003).

A acidez do solo pode ser dividida em duas classes: ativa e potencial. A acidez ativa é referente ao hidrogênio dissociado na solução do solo na forma de  $H^+$ , e quantificado pelo pH. A acidez potencial, por sua vez, é subdividida em trocável ou não trocável. A acidez trocável refere-se aos íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$  que estão retidos na superfície das colóides do solo por forças eletrostáticas. A acidez não trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos colóides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio (LOPES et al., 1991).

A calagem tem por objetivo neutralizar parcialmente a acidez potencial, pois é esta que está associada à diminuição da retenção de cátions trocáveis nas cargas negativas dos colóides (SOUSA et al, 2007). Para se controlar a acidez do solo, são utilizados produtos que contenham "constituintes neutralizantes" ou "princípios ativos": carbonatos, óxidos, hidróxidos ou silicatos de cálcio e ou de magnésio (ALCARDE, 1986), produtos que, ao reagirem na solução do solo, promovem a neutralização de prótons ( $H^+$ ) (NOLLA et al., 2013).

Dentre os produtos utilizados para a correção da acidez, o calcário ganha destaque por se tratar de um material de ótima eficácia e acessibilidade, sendo o principal insumo empregado na agricultura para esta finalidade (OLIVEIRA et al., 1997; MESQUITA et al., 2008; SANTANA et al., 2010). Obtido por meio da moagem fina de rochas calcárias, cuja composição principal é uma mistura de carbonato de cálcio e de magnésio ( $CaCO_3 + MgCO_3$ ) em proporções variadas (RAVAZZI, 2009), atua como um receptor de prótons, na medida em que recebe íons  $H^+$ , sendo convertido em água e gás carbônico (RAIJ, 2008), como mostra a reação a seguir:



Quando aplicado em quantidade adequada e distribuído de forma correta, o calcário permite a elevação do pH e da saturação por bases, fornecendo  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , e a redução da toxidez por  $Al^{3+}$  (AZEVEDO et al., 1996; MIRANDA; MIRANDA, 2000). Contudo, seu efeito fica restrito à camada em que foi incorporado, devido a

baixa mobilidade no perfil do solo; ou quando aplicado em superfície, sua ação demora grandes períodos para alcançar profundidades maiores em sistemas convencionais de plantio (QUAGGIO, 2000; RHEINHEIMER et al. 2018b).

Neste contexto, existe um esforço em estudar produtos à base de Ca e/ou Mg capazes de controlar a acidez do solo (MARTINS et al., 2009). Dentre estes, destacam-se os compostos contendo silicatos, óxidos e hidróxidos em sua composição ou materiais com granulometria diferenciada. Esses materiais apresentam maior solubilidade e menor tempo de reação no solo devido a menor granulometria e ao maior poder de neutralização, permitindo a correção da acidez do solo de forma mais rápida em comparação ao carbonato de cálcio e magnésio (ALCARDE, 1985; ALCARDE; RODELLA, 2003).

A Cal virgem, constituída por óxido de cálcio e magnésio (CaO e MgO) é obtida através da queima completa do calcário; já o calcário calcinado, é obtido através da queima parcial do calcário, sendo considerado um produto intermediário entre o calcário convencional e a cal virgem; e por último o calcário Filler que se trata de um calcário convencional, porém, apresentando granulometria mais fina (PRIMAVESI, 2004).

Outro produto que pode ser utilizado em conjunto aos corretivos é o gesso agrícola, que é um produto secundário da fabricação de fertilizantes fosfatados (VITTI et al., 2008; MARTINS et al., 2009). A aplicação de gesso é uma alternativa importante para que a ação do calcário ou outros corretivos do solo aplicados em superfície se estenda à subsuperfície, aumentando a concentração de Ca, Mg, K e S em profundidade e diminuindo o efeito tóxico do  $Al^{3+}$ , favorecendo assim, o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (SORRATO; CRUSCIOL, 2008; PAULETTI et. al., 2014; BERRO et al., 2015).

O objetivo do trabalho foi verificar o desempenho de diferentes corretivos de solo aplicados em superfície, na movimentação de cátions e na correção da acidez em profundidade, em solos com texturas diferentes; e determinar se a aplicação de diferentes corretivos de acidez e condicionador alteram o potencial de perda de nutrientes por lixiviação.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em colunas de lixiviação.

O delineamento experimental utilizado nos dois experimentos foram o inteiramente casualizado, constituído por 8 tratamentos: (1 - Controle sem corretivo de acidez; 2 - Calcário calcinado grosso; 3 - Gesso + óxido de magnésio; 4 - Calcário calcinado fino; 5 - Carbonato de cálcio; 6 – Calcário filler; 7 - Calcário dolomítico; e 8 - Gesso + carbonato de cálcio), variando apenas o solo de estudo em cada experimento, sendo eles um Latossolo Vermelho e um Neossolo Quartzarênico com 3 repetições. As características químicas dos produtos utilizados são apresentadas na Tabela 3. As quantidades dos corretivos aplicadas em cada unidade experimental são apresentadas na Tabela 4 e foram calculadas considerando-se o equivalente em bases (Ca e Mg) aplicado com a dose de calcário filler ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) para a elevação do V% para 70% para a camada de 0-10 cm para ambos os solos.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS CORRETIVOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO

Tratamentos*	CaO**	MgO	SO <sub>4</sub>	PN	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
	-----			% -----	-----	
CCG	44	31	0	156	31,3	18,8
+ OM	20	30	32	74	14,6	17,8
CCF	41	29	0	147	29,5	17,6
CCA	55	0	0	98	39,2	0,1
Filler	29	21	0	105	21,1	12,6
Calcário	26	19	0	93	18,7	11,2
G + CCA	41	4	21	56	29,3	2,4

\*CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; G+ CCA = gesso + carbonato de cálcio

\*\*CaO = óxido de cálcio; MgO = óxido de magnésio; SO<sub>3</sub> = sulfito PN = poder de neutralização; Ca<sup>2+</sup> = cálcio; Mg<sup>2+</sup> = magnésio.

FONTE: O autor (2019).

TABELA 4 - DOSES DOS CORRETIVOS APLICADOS EM CADA TRATAMENTO

Tratamentos*	Controle	CCG	G+OM	CCF	CCA	Filler	Calcário	G+CCA
Solos	----- g coluna <sup>-1</sup> -----							
Latossolo	0,00	2,07	2,93	2,20	3,30	3,08	3,47	3,89
Neossolo	0,00	4,53	6,41	4,83	7,23	6,74	7,60	8,53

\*CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; G+ CCA = gesso + carbonato de cálcio.

FONTE: O autor (2019).

Os solos utilizados foram coletados em ambiente natural, em área de mata nativa. As coletas de amostras deformadas foram feitas separadamente nas camadas 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, para posteriormente serem colocadas na coluna na mesma ordem.

O Latossolo Vermelho foi coletado na Fazenda Experimental do Canguiri, no município de Pinhais, PR; e o Neossolo Quartzarênico no município de Ponta Grossa, PR. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e posteriormente peneiradas em malha de 4 mm. Em cada solo e camadas, foram separadas sub-amostras para realização de análises químicas iniciais (Tabela 5).

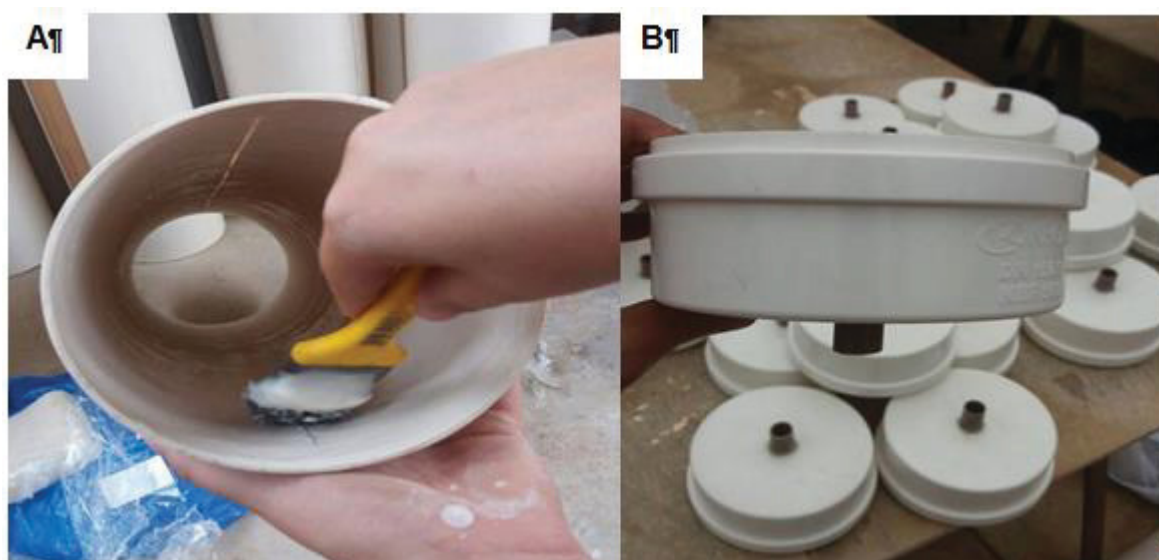
TABELA 5 - ANÁLISE QUÍMICA DOS SOLOS NAS RESPECTIVAS CAMADAS AMOSTRADAS, ANTES DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.

Profundidades (cm)	pH		Al	H+Al	Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				mg dm <sup>-3</sup>				C	M.O	Efetiva	CTC	SB	V%	M%	Argila
	CaCl <sub>2</sub>	SMP			Ca	Mg	K	P	g kg <sup>-1</sup>	pH7										
Neossolo																				
00-10	3,65	4,70	2,90	13,10	0,10	0,30	0,01	2,10	26,00	44,82	3,31	13,51	0,41	3,03	87,61	163				
10-20	3,70	4,80	3,00	12,10	0,10	0,20	0,01	2,80	23,70	40,86	3,31	12,41	0,31	2,50	90,64	163				
20-40	3,74	4,90	2,80	11,30	0,00	0,00	0,00	1,40	17,90	30,86	2,80	11,30	0,00	0,04	99,84	163				
40-60	3,80	4,90	2,80	11,30	0,00	0,00	0,00	1,40	12,20	21,03	2,80	11,30	0,00	0,03	99,87	200				
Latossolo																				
00-10	4,37	5,41	0,90	7,80	2,30	2,10	0,02	1,00	21,30	36,72	5,32	12,22	4,42	36,17	16,92	563				
10-20	3,99	4,75	3,60	14,40	0,70	1,10	0,01	1,00	16,70	28,79	5,41	16,21	1,81	11,17	66,54	675				
20-40	3,95	4,84	4,10	14,40	0,20	0,60	0,00	0,30	12,20	21,03	4,90	15,20	0,80	5,29	83,61	688				
40-60	3,94	5,04	3,90	12,10	0,10	0,30	0,00	0,70	3,50	6,03	4,30	12,50	0,40	3,22	90,66	653				

FONTE: O autor (2019).

As colunas foram confeccionadas com cano de PVC rígido, contendo 60 cm altura e 10 cm de diâmetro. Para evitar o fluxo preferencial do lixiviado, as paredes internas das colunas foram lixadas e, posteriormente, revestidas com uma camada de parafina (Figura 1 A). A parte inferior foi fechada com um *cap*, no qual foi acoplado no centro um cano de PVC de meia polegada, para permitir o escoamento e coleta do lixiviado (Figura 1 B). Entre o *cap* e o solo, adicionou-se um tecido *Voil* para evitar a passagem de partículas de solo. O lixiviado foi coletado em garrafas PET com capacidade de 2 litros, as mesmas foram conectadas ao cap por meio de mangueira plástica para evitar a perda de lixiviado (Figura 2).

FIGURA 1 - A) APLICAÇÃO DA PARAFINA NA COLUNA. B): CAP COM O CANO NO CENTRO PARA ESCOAMENTO DO LIXIVIADO.



FONTE: O autor (2019).



FIGURA 2 - COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO COM COLETA EM GARRAFAS PET.

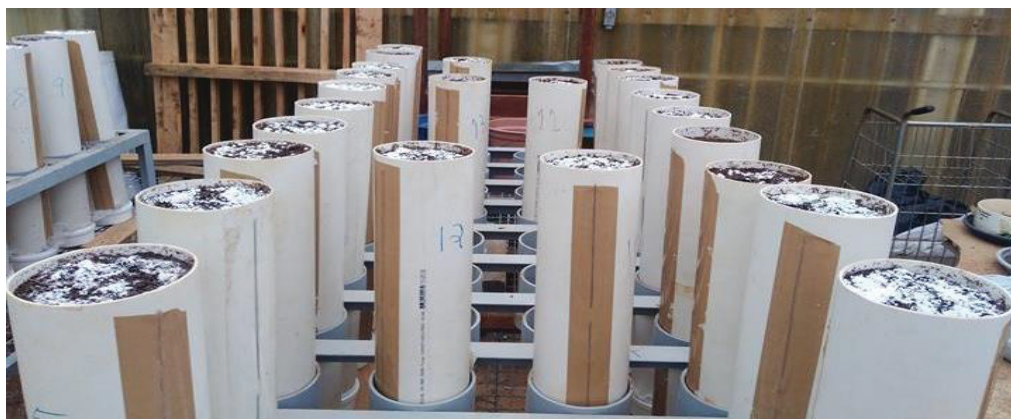


FONTE: O autor (2019).

Os solos foram dispostos nas colunas conforme a ordem das camadas coletadas no campo. No Latossolo Vermelho, considerou-se densidade  $1,0 \text{ kg m}^{-3}$  e no Neossolo Quartzarênico  $1,2 \text{ kg m}^{-3}$ . Calculou-se previamente a massa de solo que deveria ocupar cada camada da coluna, correspondente às camadas amostradas no campo (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm). Para obter a densidade em todas as camadas, o solo foi colocado na coluna aos poucos, dividindo a quantidade de solo estipulada por camada, em três porções, que foram pressionadas com auxílio de um peso. Antes da aplicação dos tratamentos, umedeceu-se os solos nas colunas até a capacidade de campo, por meio da aplicação de água deionizada com  $0,6 \text{ dS cm}^{-1}$  de condutividade elétrica (800 ml para o Latossolo e 1.250 ml para o Neossolo).

Após 24 horas de manutenção da umidade da capacidade de campo no vaso, foi feita a aplicação dos corretivos (tratamentos) em superfície, sem incorporação (Figura 3).

FIGURA 3 - COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO COM COLETA EM GARRAFAS PET.



FONTE: O autor (2019).

Para se avaliar a quantidade de nutrientes lixiviada, foram realizadas cinco simulações de chuva aos cinco, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação dos tratamentos, adicionando-se lâmina d'água em quantidade equivalente a 100 mm.

Após a aplicação do volume de água em cada simulação, o lixiviado foi coletado por um período de 24 horas. Após este intervalo de tempo, o volume da solução percolada foi medido, filtrado em papel de filtração lenta com retenção nominal de 2 micra; uma alíquota da solução foi retirada para posterior determinação de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) e as concentrações de Ca, Mg, K e S. O pH  $\text{CaCl}_2$  foi determinado em peagâmetro e as concentrações dos nutrientes foram realizadas com o Espectrômetro de Emissão Ótica ICP (Inductively Coupled Plasma) no laboratório de Nutrição de Plantas, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

Para se calcular o acúmulo de nutrientes por coluna em cada simulação de chuva, os dados de concentração provenientes do ICP foram multiplicados pelo volume de solução da sua respectiva coluna e dividida por 1.000 para transformar os valores de nutrientes provenientes da leitura para  $\text{mg coluna}^{-1}$ .

Após os 120 dias de condução do experimento, as colunas foram abertas e o solo subdividido em 8 camadas: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm (Figura 4). Em cada camada, retirou-se uma sub-amostra que foi seca em estufa a  $65^\circ \text{C}$ , homogeneizada e passada em peneira de malha de 2mm para posterior análise de pH ( $\text{CaCl}_2$ , SMP),  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (extraído com  $\text{KCl } 1\text{mol L}^{-1}$ ),  $\text{K}^+$  extraído por Mehlich I e  $\text{Al}^{3+}$  (extraído com  $\text{KCl } 1\text{mol L}^{-1}$ ), de acordo com a

metodologia descrita por EMBRAPA (1997). Os valores obtidos foram submetidos a análise de variância e quando a fonte de variação foi significativa a no mínimo 5% de probabilidade pelo Teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FIGURA 4 – DIVISÃO DAS CAMADAS DO SOLO APÓS 120 DIAS DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS NA SUPERFÍCIE PARA COLETA E POSTERIOR ANÁLISE QUÍMICA.



FONTE: O autor (2019).

### 3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1. SOLO

De maneira geral, podem-se observar diferenças no efeito dos tratamentos em função ao tipo de solo, efeito este que pode estar relacionado às particularidades de cada solo.

O principal fator que pode ter influenciado os corretivos a se moverem de maneira mais efetiva no Neossolo é a textura do solo, visto que solos com textura arenosa possuem maior permeabilidade e, quando associado a baixa CTC, podem acarretar na movimentação ou eventual perda de bases por percolação (ZAPAROLLI, 2009). Por outro lado, solos com textura argilosa, como os Latossolos, possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água (PRIMAVESI, 2004) o que ajuda na retenção de cátions, diminuindo assim perdas por lixiviação.

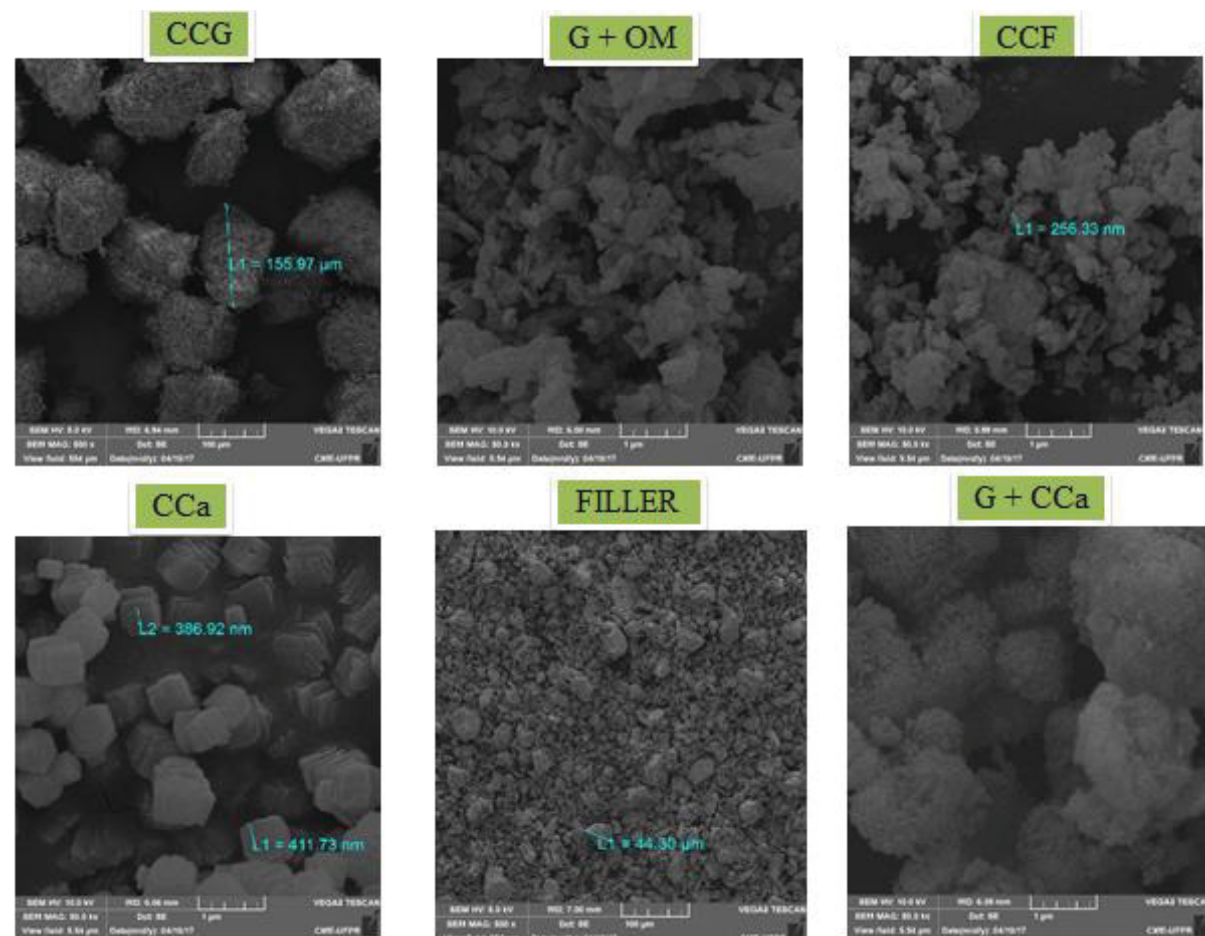
Os principais efeitos esperados quando se aplica um corretivo ao solo é a elevação do pH e, conseqüentemente, a neutralização do alumínio tóxico. Neste experimento foi possível observar, em ambos os solos, a eficiência de todos os tratamentos em elevar o pH na camada superficial (0–5 cm) quando comparados a testemunha (sem corretivo) (Tabela 6). Para o Latossolo, verificou-se que a aplicação de  $\text{CaCO}_3$  proporcionou aumento do pH na camada 0-5 cm que a aplicação de calcário calcinado grosso, calcário filler e calcário dolomítico. Já no Neossolo, além do  $\text{CaCO}_3$ , a mistura de gesso com óxido de magnésio e de gesso com carbonato de cálcio proporcionaram maior pH que a aplicação do calcário Filler e do calcário dolomítico.

Cabe ressaltar que, além da correção do pH do solo na camada superficial (0-5 cm) o  $\text{CaCO}_3$  estendeu seu efeito corretivo para ambos os solos até a camada 20 -30 cm, em um curto período de tempo, apenas 4 meses. Trabalhos realizados em diversos locais do Brasil também observaram a movimentação do calcário em profundidade, porém, após um tempo relativamente longo e associado a outros fatores. Miyazawa et al. (2002) observaram que a presença de matéria orgânica no solo pode carrear o corretivo para as camadas mais profundas pela ligação do mesmo com ácidos orgânicos liberados na decomposição dos restos vegetais. Outra possível explicação é a formação e a migração de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  para camadas mais profundas de solo (OLIVEIRA; PAVAN, 1996).

Contudo, as possíveis explicações da movimentação do calcário no perfil do solo citadas acima não se enquadram aos resultados encontrados neste experimento; No presente trabalho, os dados indicam que o deslocamento do  $\text{CaCO}_3$  no perfil do solo, pode estar relacionado à movimentação física, visto que o tamanho médio das partículas do corretivo ( $\text{CaCO}_3$ ) eram de 386 – 411 nm (Figura 5). O tamanho das partículas do ( $\text{CaCO}_3$ ), são provenientes do processo de fabricação, realizado na forma de precipitação seguido de separação por peneira de 1  $\mu\text{m}$ , resultando em partículas extremamente pequenas e capazes de se movimentar no perfil solo; os demais tratamentos, são provenientes da separação mecânica com auxílio de peneiras ABNT de 325 (0,045 mm) (gesso + óxido de magnésio, calcário calcinado fino, calcário filler e gesso + carbonato de cálcio) e 100 (0,150 mm) (calcário calcinado grosso e calcário dolomítico), resultando em partículas maiores.



FIGURA 5 - FOTOS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA TIRADA DOS PRODUTOS UTILIZADOS COMO TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO.



\*CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCa = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

FONTE: Caltec (2019).

De acordo com Pavan et al. (1994), a movimentação física dos corretivos no perfil do solo pode estar relacionada à presença de canais formados no solo pela decomposição do sistema radicular das culturas. Apesar das colunas não apresentarem tais canais, pois a coleta do solo foi realizada em amostras deformadas, seguidas pelo peneiramento do mesmo e a posterior realocação nas colunas de lixiviação foi feita de forma a resultar em baixa compactação (densidade de 1 para o Latossolo e 1,2 para o Neossolo), favorecendo a movimentação da água no perfil e consequentemente das partículas do  $\text{CaCO}_3$ .

TABELA 6- DISTRIBUIÇÃO DO pH (CaCl<sub>2</sub>) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DOS DIFERENTES PRODUTOS CORRETIVOS NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM, NO LATOSSOLO VERMELHO (LATOSSOLO) E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NEOSSOLO).

LATOSSOLO									
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)							
		0 - 5	5-10	10-15	15-20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60
Testemunha		4,25 C	4,29 C	4,15 A	3,91 B	3,85 B	3,83 A	3,86 A	3,86 A
	CCG	5,28 B	4,40 BC	4,15 A	3,93 B	3,86 B	3,83 A	3,86 A	3,87 A
G + OM		5,55 AB	4,58 ABC	4,24 A	4,00 B	3,92 AB	3,85 A	3,86 A	3,85 A
CCF		5,96 AB	4,61 AB	4,22 A	3,94 B	3,84 B	3,81 A	3,83 A	3,84 A
CCA		6,16 A	4,70 A	4,41 A	4,29 A	3,99 A	3,85 A	3,86 A	3,85 A
Filler		5,21 B	4,55 ABC	4,16 A	3,94 B	3,85 B	3,80 A	3,86 A	3,86 A
Calcário		5,34 B	4,57 ABC	4,25 A	3,97 B	3,87 B	3,82 A	3,86 A	3,86 A
GCCA		5,70 AB	4,63 AB	4,31 A	4,00 B	3,95 AB	3,86 A	3,88 A	3,88 A
Média		5,43	4,54	4,23	4,01	3,89	3,84	3,85	3,89
C.V %		3,9							
NEOSSOLO									
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)							
		0 - 5	5-10	10-15	15-20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60
Testemunha		3,56 D	3,54 E	3,58 C	3,62 BC	3,69 B	3,70 A	3,76 B	3,82 A
	CCG	5,69 AB	3,89 BCD	3,65 BC	3,63 BC	3,67 B	3,68 A	3,77 AB	3,81 A
G + OM		6,37 A	3,96 BC	3,90 B	3,80 B	3,76 AB	3,76 A	3,85 A	3,95 A
CCF		5,95 AB	3,98 ABC	3,70 BC	3,65 BC	3,70 AB	3,72 A	3,75 B	3,81 A
CCA		6,07 A	4,26 A	4,31 A	4,04 A	3,81 A	3,71 A	3,77 AB	3,84 A
Filler		5,20 BC	3,74 CDE	3,65 BC	3,65 BC	3,70 B	3,72 A	3,76 B	4,14 A
Calcário		4,61 C	3,65 DE	3,58 C	3,59 C	3,66 B	3,77 A	3,75 B	3,82 A
GCCA		6,38 A	4,12 AB	3,71 BC	3,70 BC	3,71 AB	3,72 A	3,83 ABC	3,92 A
Média		5,48	3,59	3,76	3,71	3,71	3,72	3,78	3,86
C.V %		5,52							

\*Test. = testemunha; CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

\*\*Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
 FONTE: O autor (2019).



A concentração do alumínio tóxico ( $\text{Al}^{3+}$ ) na camada superior do solo (0-5 cm) foi praticamente anulada pela aplicação de todos os corretivos avaliados (Tabela 7). Esta neutralização ocorre pela hidrólise do alumínio pelas hidroxilas liberadas na reação dos corretivos, formando espécies menos tóxicas as plantas ( $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$  e  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ) e passíveis de serem lixiviados para camadas mais profundas do solo, por possuírem menor carga.

O efeito na diminuição da disponibilidade do  $\text{Al}^{3+}$  ocorreu até a camada de 15-20 cm em ambos os solos (Tabela 7 ). O  $\text{CaCO}_3$  foi o produto que se destacou, resultando em teores de  $\text{Al}^{3+}$  significativamente inferiores aos observados nos demais. Na camada de 30 – 40 cm, o tratamento com aplicação conjunta de gesso e óxido de magnésio proporcionou menor concentração de  $\text{Al}^{3+}$  quando comparado com calcário Filler e calcário dolomítico. Este efeito pode estar relacionado a 3 hipóteses geralmente apresentadas em trabalhos estudando o gesso agrícola. Primeiro, após sua solubilização a concentração de sulfato aumenta drasticamente retirando as hidroxilas dos pontos de troca, formando compostos de alumínio menos tóxicos (REEVE; SUMNER, 1972); segunda é a formação de minerais, derivados da precipitação de alumínio presente na solução do solo (ADAMS; RAWAYFIH, 1977); e a terceira é a formação de  $\text{AlSO}_4^+$  proveniente da ligação do  $\text{Al}^{3+}$  e o  $\text{SO}_4^{2-}$ , sendo lixiviado para as camadas mais profundas do solo (PAVAN et al., 1984; OATES; CALDWELL, 1985; RAIJ, 2008; ZAMBROSI et al. 2007).

Com diminuição dos teores de  $\text{Al}^{3+}$  foi verificado também, uma diminuição do m% (porcentagem de saturação por alumínio na CTC efetiva) (Tabela 8) até a camada 20 -30 cm para o Latossolo e em todas as camadas para Neossolo. A diminuição da porcentagem de  $\text{Al}^{3+}$  na CTC efetiva está relacionada a dois fatores, primeiramente pela correção do pH que diretamente irá hidrolisar o  $\text{Al}^{3+}$  retirando-o do sistema ou transformando-o em espécies menos tóxicas. Outro fator responsável pela diminuição do m% é adição de bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) ao sistema, atuando de forma indireta nesta diminuição, diluindo a concentração de  $\text{Al}^{3+}$  na CTC do solo.

No Latossolo, o tratamento que proporcionou as menores médias de m% foi o com aplicação de  $\text{CaCO}_3$ , atuando até a camada 20-30 cm. No Neossolo foi observado o efeito de dois tratamentos, porém atuando em camadas diferentes do solo, nas camadas superficiais 0 -20 cm o tratamento com  $\text{CaCO}_3$  proporcionou os menores valores enquanto que para as camadas mais profundas da coluna (20-60

cm) o tratamento com aplicação de gesso + óxido de magnésio, foi mais eficiente, pela adição de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  provenientes do gesso e óxido, respectivamente, e pela adição de  $\text{SO}_4^{2-}$  que pode fazer par iônico com o  $\text{Al}^{3+}$ , deslocando-o para fora da coluna.

TABELA 7 - CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO TROCÁVEL ( $Al^{3+}$ ) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DOS DIFERENTES CORRETIVOS NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM, NO LATOSSOLO VERMELHO (LATOSSOLO) E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NEOSSOLO).

LATOSSOLO										
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)								
		0 - 5	5-10	10-15	15-20	20-30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	
<b>Testemunha</b>		1,24 A	1,26 A	1,98 AB	4,12 A	5,20 A	4,40 ABC	4,06 A	4,40 A	
<b>CCG</b>		0,05 B	1,20 A	2,34 AB	4,02 AB	4,13 A	4,69 ABC	4,02 A	4,61 A	
<b>G + OM</b>		0,02 B	0,73 A	2,16 AB	3,63 AB	4,46 A	4,19 C	3,74 A	4,62 A	
<b>CCF</b>		0,00 B	0,97 A	2,10 AB	4,04 AB	5,20 A	4,72 ABC	4,10 A	4,76 A	
<b>CCA</b>		0,00 B	0,77 A	1,19 B	2,35 C	3,43 A	4,39 BC	3,92 A	4,40 A	
<b>Filler</b>		0,08 B	0,82 A	2,74 A	4,42 A	3,43 A	5,10 A	4,25 A	4,77 A	
<b>Calcário</b>		0,05 B	0,75 A	1,84 AB	4,03 AB	4,83 A	4,92 AB	4,04 A	4,20 A	
<b>GCCA</b>		0,02 B	0,67 A	1,82 AB	3,30 B	3,80 A	4,37 BC	3,93 A	4,33 A	
<b>Média</b>		0,18	0,9	2,02	3,74	4,28 A	4,6	4,01	4,51	
<b>C.V %</b>					9,69					
NEOSSOLO										
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)								
		0 - 5	5-10	10-15	15-20	20-30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	
<b>Testemunha</b>		3,82 A	3,47 A	3,54 AB	3,45 A	3,39 A	3,47 A	3,12 A	3,03 A	
<b>CCG</b>		0,00 B	2,89 ABC	3,37 AB	3,39 A	3,09 A	3,33 A	3,06 A	3,21 A	
<b>G + OM</b>		0,00 B	2,17 D	2,40 B	2,85 AB	3,22 A	3,11 A	2,95 A	2,53 A	
<b>CCF</b>		0,00 B	2,73 BCD	3,06 AB	3,43 AB	3,38 A	3,41 A	3,30 A	2,98 A	
<b>CCA</b>		0,00 B	1,23 E	0,73 C	2,16 B	3,05 A	3,18 A	3,23 A	3,14 A	
<b>Filler</b>		0,00 B	2,90 ABC	3,33 AB	3,64 A	3,56 A	3,49 A	3,16 A	3,02 A	
<b>Calcário</b>		0,03 B	3,33 AB	3,72 A	3,60 A	3,36 A	3,36 A	3,08 A	2,88 A	
<b>GCCA</b>		0,00 B	2,48 CD	3,01 AB	3,60 A	3,21 A	3,25 A	2,96 A	2,65 A	
<b>Média</b>		0,48	2,65	2,89	3,2	3,28	3,32	3,1	2,93	
<b>C.V %</b>					9,12					

\*Test. = testemunha; CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

\*\*Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
FONTE: O autor (2019).

TABELA 8- PORCENTAGEM DE ALUMÍNIO NA CTC EFETIVA (m%) NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DIFERENTES CORRETIVOS NO LATOSSOLO VERMELHO (LATOSSOLO) E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NEOSSOLO).

LATOSSOLO										
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)								
	0 - 5	5-10	10-15	15 -20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60		
Testemunha	11,19 A	12,05 A	18,56 AB	45,61 A	60,57 AB	61,76 A	67,20 A	70,02 A		
CCG	0,37 B	12,52 A	26,22 AB	46,42 A	61,48 AB	68,31 A	62,81 A	68,87 A		
G + OM	0,17 B	7,72 A	19,13 AB	36,69 AB	47,76 BC	57,66 A	59,87 A	66,54 A		
CCF	0,00 B	9,99 A	20,49 AB	49,75 A	60,51 AB	70,84 A	62,31 A	65,54 A		
CCA	0,00 B	7,26 A	9,98 B	22,85 B	43,41 C	63,25 A	65,91 A	68,67 A		
Filler	0,56 B	8,23 A	31,74 A	47,42 A	67,01 A	69,20 A	67,06 A	67,54 A		
Calcário	0,33 B	7,80 A	18,52 AB	40,45 A	60,23 AB	66,91 A	65,01 A	67,80 A		
GCCA	0,23 B	15,56 A	17,40 AB	36,38 AB	47,78 BC	62,79 A	59,51 A	65,04 A		
Média	1,6	10,14	59,14	40,67	56,1	65,09	63,71	67,5		
C.V %	13,77									

NEOSSOLO										
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)								
	0 - 5	5-10	10-15	15 -20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60		
Testemunha	81,81 A	78,24 A	80,06 A	77,88 A	76,47 A	75,80 A	71,73 A	63,97 BC		
CCG	0,00 B	51,40 BCE	67,72 ABC	73,17 A	75,97 A	78,76 A	77,91 A	78,20 A		
G + OM	0,00 B	41,39 CD	46,20 C	51,25 B	59,83 B	60,03 B	54,19 B	44,26 D		
CCF	0,00 B	43,08 CD	60,39 ABC	73,81 A	80,98 A	82,24 A	81,21 A	76,95 A		
CCA	0,00 B	14,62 E	8,69 D	35,04 C	66,68 AB	71,00 AB	77,68 A	69,26 A		
Filler	0,00 B	60,02 ABC	73,40 AB	72,96 A	78,06 A	79,41 A	78,16 A	74,22 AB		
Calcário	0,19 B	71,72 AB	78,62 AB	80,05 A	80,08 A	79,56 A	80,87 A	78,59 A		
GCCA	0,00 B	36,54 DE	58,06 BC	67,71 A	73,09 AB	76,64 A	71,11 A	60,87 C		
Média	10,25	49,63	20,26	66,48	73,9	75,43	74,11	68,29		
C.V %	14,52									

\*Test. = testemunha; CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

\*\*Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2019).

Foi observado aumento significativo da concentração  $\text{Ca}^{2+}$  na camada superficial (0-5 cm) de ambos os solos (Tabela 9) quando aplicado o tratamento  $\text{CaCO}_3$ , adicionando à camada superficial (0-5 cm) 13,7 e 20,53  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  no Latossolo e Neossolo, respectivamente, sendo superior aos demais tratamentos. Na camada (5-10 cm) é possível verificar a mesma tendência anterior, porém com menor intensidade.

Esta alta liberação de cálcio pode estar relacionada à granulometria do material utilizado, aumentando a superfície específica e consequentemente a solubilização do mesmo. Segundo Bellingieri et al. (1988) aumentando a área de contato entre o corretivo e o solo pela diminuição do diâmetro das partículas, maior será a área externa total, e maior será a rapidez na correção da acidez e disponibilização das bases  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Outra possível explicação para o elevado aumento na concentração deste nutriente nesta camada do solo é a presença de micropartículas dos corretivos que não reagiram no solo e foram solubilizadas durante o procedimento analítico.

A partir da camada (20-30 cm) outro material utilizado mostrou-se mais eficiente na disponibilização de  $\text{Ca}^{2+}$  em profundidade (gesso + óxido de magnésio), porém apenas para o Neossolo, superando os outros produtos até a última camada avaliada (50-60 cm). A presença do gesso agrícola neste tratamento infere ao material a capacidade de distribuir o  $\text{Ca}^{2+}$  por todo o perfil, pela ligação que os cátions podem realizar com o ânion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), perdendo sua carga, facilitando assim sua movimentação. Com os dados adquiridos neste experimento, é possível observar que a quantidade de gesso agrícola na composição de um produto é fundamental na sua movimentação no perfil. O tratamento G+Cca possui uma concentração de Ca 100% maior que o tratamento G+OM, contudo, possui uma menor concentração de gesso em sua composição, diminuindo assim sua ação nas camadas mais profundas do perfil do solo.

TABELA 9- CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO TROCÁVEL ( $\text{Ca}^{2+}$   $\text{cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ ) NAS CAMADAS 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM DO LATOSSOLO VERMELHO (LATOSSOLO) E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (NEOSSOLO) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DIFERENTES CORRETIVOS EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO.

LATOSSOLO									
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)							
		0 - 5	5-10	10-15	15-20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60
<b>Testemunha</b>		5,43 B	5,17 AB	4,53 AB	2,27 B	4,56 AB	1,13 A	0,93 A	1,00 A
<b>CCG</b>		10,17 B	4,6 AB	3,70 B	2,10 B	4,36 AB	0,90 A	1,10 A	0,90 A
<b>G + OM</b>		10,67 B	4,43 AB	4,23 AB	2,47 B	3,97 BC	1,16 A	1,30 A	1,06 A
<b>CCF</b>		10,73 B	5,00 AB	4,33 AB	1,93 B	4,48 AB	0,70 A	0,93 A	1,03 A
<b>CCA</b>		19,13 A	5,93 A	6,67 A	5,13 A	3,43 C	1,36 A	0,93 A	0,96 A
<b>Filler</b>		8,07 B	5,13 AB	3,47 B	2,13 B	4,75 A	0,86 A	1,03 A	1,16 A
<b>Calcário</b>		8,90 B	4,46 AB	4,07 AB	2,80 B	4,79 A	1,06 A	1,03 A	0,93 A
<b>GCCA</b>		6,73 B	2,40 B	4,90 AB	2,90 B	3,89 BC	1,00 A	1,46 A	1,33 A
<b>Média</b>		9,97	4,64	4,48	2,72	1,55	1,02	1,09	1,05
<b>C.V %</b>						31,65			
NEOSSOLO									
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)							
		0 - 5	5-10	10-15	15-20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60
<b>Testemunha</b>		0,27 C	0,30 B	0,27 B	0,50 B	0,46 AB	0,53 AB	0,56 AB	0,96 AB
<b>CCG</b>		6,77 BC	0,47 B	0,30 B	0,37 B	0,36 AB	0,30 B	0,26 B	0,33 BC
<b>G + OM</b>		3,40 BC	0,27 B	0,13 B	1,13 B	1,10 A	1,13 A	1,01 A	1,07 A
<b>CCF</b>		7,90 B	0,37 B	0,20 B	0,30 B	0,20 B	0,20 B	0,16 B	0,23 C
<b>CCA</b>		20,80 A	6,83 A	6,33 A	3,27 A	0,93 AB	0,73 AB	0,23 B	0,40 ABC
<b>Filler</b>		3,83 BC	0,50 B	0,17 B	0,60 B	0,26 B	0,26 B	0,33 B	0,40 ABC
<b>Calcário</b>		6,20 BC	0,30 B	0,13 B	0,20 B	0,16 B	0,23 B	0,16 B	0,16 C
<b>GCCA</b>		16,76 A	2,70 B	1,03 B	0,37 B	0,43 AB	0,30 B	0,40 AB	0,33 BC
<b>Média</b>		8,24	1,46	1,07	0,88	0,49	0,46	0,39	0,48
<b>C.V %</b>						31,84			

\*Test. = testemunha; CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

\*\*Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
FONTE: O autor (2019).

Os teores de magnésio no solo variaram conforme os tratamentos e o solo estudado (Tabela 10). No Latossolo, o incremento de  $Mg^{2+}$  só foi observado a partir da camada 15-20 cm estendendo-se até a camada 20-30 cm, tendo como destaque o tratamento com aplicação de gesso + óxido de magnésio, que além de suprir o solo com o  $Mg^{2+}$  proveniente do  $MgO$ , possui o poder de se movimentar pelo perfil através da ligação do  $Mg^{2+}$  com o  $SO_4^{2-}$  liberado pelo gesso. Esta movimentação do  $Mg^{2+}$  em função da aplicação de gesso agrícola foi encontrada por diversos autores (RAPIM et al., 2011; PAULETTI et al., 2014; ARAÚJO et al., 2016). Pesquisadores envolvidos nestas pesquisas acreditam que o elevado fornecimento de  $Ca^{2+}$  derivado da solubilização do gesso provoque a substituição do  $Mg^{2+}$  presente nas colóides do solo (LOYOLA JR; PAVAN, 1989), liberando-o para a solução e, assim, possibilitando a sua lixiviação na forma de  $MgSO_4^0$  (QUAGGIO et al., 1982).

No Neossolo, constatou-se aumento nos teores de  $Mg^{2+}$  nas camadas superiores do solo, tendo na camada 0-5 cm um incremento de 15.7, 11.7 e 8.8  $cmol_c\ dm^{-3}$  de  $Mg^{2+}$  com a aplicação de calcário calcinado fino, calcário calcinado grosso e gesso + óxido de magnésio, respectivamente. O acréscimo deste nutriente está relacionado à dosagem dos produtos, onde no Neossolo foi requerido uma necessidade de calagem de 8,6  $ton\ ha^{-1}$ . Contudo este acréscimo se restringiu apenas para a camada superficial para a maioria dos tratamentos estudados.

Nas camadas subsequentes a aplicação de gesso + óxido de magnésio novamente se destaca, incrementando a concentração de  $Mg^{2+}$  em todas as camadas do Neossolo, efeito causado pelo aumento do  $Ca^{2+}$  e redistribuição do  $Mg^{2+}$  (ZANDONÁ et al., 2015).

A concentração de  $K^+$  não variou com a aplicação dos corretivos, com diferença apenas entre os solos (Tabela 11). O Latossolo possui concentrações maiores quando comparado ao Neossolo, provavelmente devido ao material de origem (basalto) ser mais rico neste nutriente que o do Neossolo (arenito)



TABELA 10- CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO TROCÁVEL ( $Mg^{2+}$  cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DOS DIFERENTES CORRETIVOS NAS CAMADAS (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM) DO LATOSSOLO VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO.

LATOSSOLO									
TRATAMENTOS	0 - 5	5-10	10-15	15-20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	
Testemunha	4,23 A	3,63 A	3,87 A	2,43 BC	1,56 B	1,46 AB	0,97 A	0,80 A	
CCG	5,33 A	3,73 A	3,50 A	2,36 BC	1,43 B	1,16 B	1,12 A	1,10 A	
G + OM	5,47 A	4,10 A	4,80 A	3,63 A	2,63 A	1,80 A	1,13 A	1,16 A	
CCF	5,03 A	3,70 A	3,63 A	1,93 C	1,56 B	1,20 B	1,60 A	1,50 A	
CCA	3,10 A	3,57 A	3,93 A	2,60 BC	1,53 B	1,10 B	1,00 A	0,96 A	
Filler	5,63 A	4,23 A	3,40 A	2,60 BC	1,30 B	1,33 AB	0,96 A	1,03 A	
Calcário	5,7 A	4,06 A	4,00 A	2,97 AB	1,56 B	1,26 B	1,06 A	0,97 A	
GCCA	5,53 A	2,90 A	4,00 A	2,70 B	2,40 A	1,53 AB	1,13 A	0,93 A	
Média	5,00	3,74	3,89	2,65	1,75	1,36	1,13	1,05	
C.V %	27,49								
NEOSSOLO									
TRATAMENTOS	0 - 5	5-10	10-15	15-20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	
Testemunha	0,33 D	0,30 C	0,37 B	0,23 B	0,30 A	0,30 A	0,33 B	0,50 B	
CCG	12,10 AB	1,83 ABC	1,00 AB	0,57 B	0,33 A	0,33 A	0,30 B	0,26 B	
G + OM	9,13 BC	2,43 AB	2,27 A	1,30 A	0,80 A	0,67 A	1,23 A	1,90 A	
CCF	16,03 A	2,73 A	1,50 AB	0,63 AB	0,33 A	0,30 A	0,30 B	0,37 B	
CCA	0,50 D	0,50 BC	0,70 AB	0,36 B	0,20 A	0,20 A	0,13 B	0,33 B	
Filler	5,30 CD	1,16 ABC	0,67 AB	0,47 B	0,46 A	0,37 A	0,30 B	0,40 B	
Calcário	7,40 BC	0,73 BC	0,53 AB	0,40 B	0,40 A	0,36 A	0,30 B	0,30 B	
GCCA	4,40 CD	1,27 ABC	0,80 AB	0,57 B	0,50 A	0,43 A	0,53 AB	1,03 AB	
Média	6,90	1,37	0,97	0,57	0,42	0,37	0,42	0,63	
C.V %	29,67								

\*Test. = testemunha; CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

\*\*Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
FONTE: O autor (2019).

TABELA 11- CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO TROCÁVEL ( $K^+$  cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DOS DIFERENTES CORRETIVOS NAS CAMADAS (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-50 E 50-60 CM) DO LATOSSOLO VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO.

LATOSSOLO									
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)							
		0 - 5	5-10	10-15	15-20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60
Testemunha CCG G + OM CCF CCA Filler Calcário GCCA Média C.V %	Testemunha	0,34 A	0,33 A	0,26 A	0,19 A	0,11 A	0,09 A	0,07 A	0,06 A
	CCG	0,34 A	0,33 A	0,23 A	0,19 A	0,11 A	0,08 A	0,06 A	0,06 A
	G + OM	0,31 A	0,31 A	0,21 A	0,16 A	0,11 A	0,08 A	0,06 A	0,06 A
	CCF	0,34 A	0,37 A	0,23 A	0,19 A	0,12 A	0,08 A	0,04 A	0,04 A
	CCA	0,33 A	0,32 A	0,25 A	0,21 A	0,12 A	0,08 A	0,07 A	0,06 A
	Filler	0,36 A	0,34 A	0,23 A	0,21 A	0,11 A	0,09 A	0,07 A	0,06 A
	Calcário	0,35 A	0,34 A	0,23 A	0,18 A	0,12 A	0,08 A	0,07 A	0,06 A
	GCCA	0,31 A	0,29 A	0,21 A	0,16 A	0,12 A	0,08 A	0,06 A	0,05 A
	Média	0,31	0,33	0,23	0,18	0,12	0,09	0,06	0,06
	C.V %	5,47							
NEOSSOLO									
TRATAMENTOS		Profundidade (cm)							
		0 - 5	5-10	10-15	15-20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60
Testemunha CCG G + OM CCF CCA Filler Calcário GCCA Média C.V %	Testemunha	0,09 A	0,11 A	0,11 A	0,11 A	0,08 A	0,07 A	0,06 A	0,06 A
	CCG	0,11 A	0,12 A	0,11 A	0,09 A	0,07 A	0,07 A	0,06 A	0,06 A
	G + OM	0,09 A	0,11 A	0,11 A	0,09 A	0,07 A	0,07 A	0,06 A	0,06 A
	CCF	0,09 A	0,11 A	0,11 A	0,09 A	0,07 A	0,07 A	0,06 A	0,06 A
	CCA	0,11 A	0,12 A	0,11 A	0,09 A	0,06 A	0,06 A	0,06 A	0,06 A
	Filler	0,11 A	0,11 A	0,11 A	0,09 A	0,07 A	0,07 A	0,06 A	0,06 A
	Calcário	0,12 A	0,12 A	0,11 A	0,09 A	0,07 A	0,06 A	0,06 A	0,06 A
	GCCA	0,11 A	0,12 A	0,12 A	0,09 A	0,08 A	0,07 A	0,07 A	0,06 A
	Média	0,10	0,11	0,11	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06
	C.V %	4,21							

\*Test. = testemunha; CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; GCCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

\*\*Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2019)

### 3.5.2. LIXIVIADO

A lixiviação de bases foi bem distinta entre os solos estudados (Figura 6 e 7). No Latossolo, não foi verificada variação entre os diferentes corretivos aplicados, para nenhum nutriente e nas 5 coletas de lixiviado, enquanto que no Neossolo foram verificadas variações expressivas. Esta diferença entre os solos pode estar relacionada aos atributos de granulometria, constituição mineralógica (Nóia et al., 2014) e de capacidade de reter cátions (CTC).

No Neossolo, a quantidade de nutrientes lixiviada teve tendência a diminuir entre a primeira e a segunda avaliação, com posterior aumento nas concentrações de nutrientes, concordando com o resultado encontrado por Maria et al. (1993) que afirmou que as maiores quantidades perdidas de nutrientes quando comparada a segunda avaliação é sempre maior. Esse fato estaria relacionado com a maior movimentação da solução do solo na primeira simulação uma vez que há uma lavagem inicial derivada da saturação por água quando o solo é colocado na capacidade de campo, associado a textura arenosa do Neossolo.

Contudo, após a segunda simulação de chuva o comportamento dos dois solos foi bem distinto. No Neossolo Quartzarênico, foi observado a lixiviação de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , sendo o sulfato o nutriente mais lixiviado. Já no Latossolo, houve lixiviação de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , tendo o magnésio como o nutriente mais lixiviado seguido do  $\text{Ca}^{2+}$ .

A lixiviação de nutrientes no Latossolo aumentou a partir dos 30 dias da aplicação dos corretivos, com as maiores médias observadas na última simulação de chuva (Figura 14). Esta elevação ao longo do tempo teve ajuste do modelo quadrático para os nutrientes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , não sendo observadas diferenças estatística entre os tratamentos. Estes dados mostram o poder de retenção de cátions deste solo, sendo necessárias altas quantias de água (500 mm) associadas ao tempo do experimento para que haja movimentação de bases no perfil. Não foi observada a lixiviação de sulfato no Latossolo, podendo ser explicado pela presença de óxidos na fração argila deste solo, limitando assim sua movimentação, devido à ligação do anion as colóides do solo.

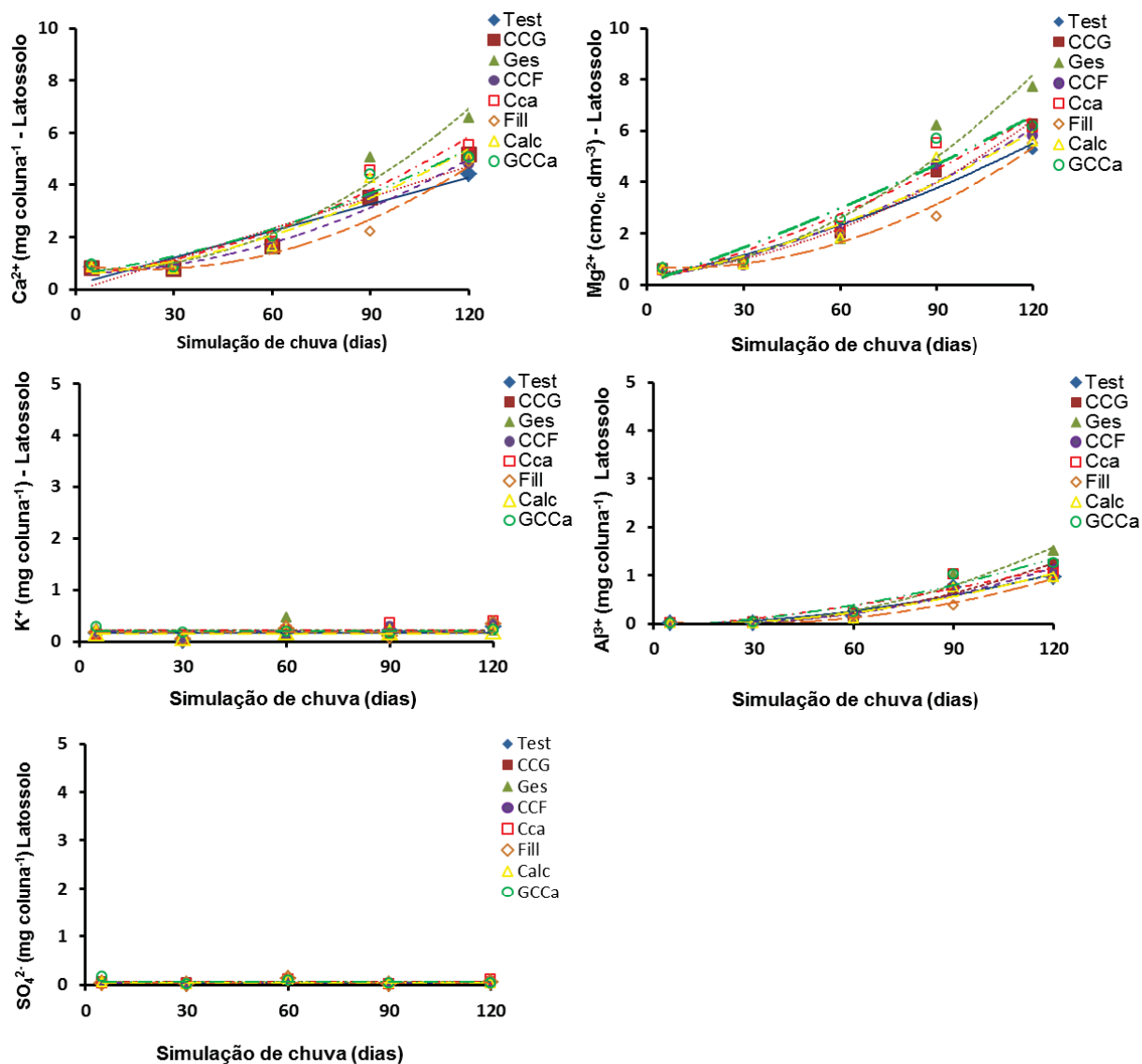
No Neossolo, a lixiviação de nutrientes foi influenciada pelos tratamentos contendo gesso agrícola, com destaque para o gesso + óxido de magnésio, lixiviando maiores concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  comparado aos demais

corretivos. A textura arenosa associada à baixa concentração de óxidos deste solo proporcionou melhor movimentação de sulfato, que por sua vez movimentou o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  pela formação de pares neutros ( $\text{CaSO}_4^0$  e  $\text{MgSO}_4^0$ ).

A lixiviação de  $\text{Ca}^{2+}$  no Latossolo aumentou a partir dos 30 dias da aplicação dos corretivos, com as maiores medias observadas aos 120 dias (Figura 6). Esta elevação ao longo do tempo foi linear para todos os tratamentos, que não diferiram entre si.

No Neossolo a aplicação de gesso + óxido de magnésio se destacou com as maiores concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  no lixiviado aos 60, 90 e 120 dias (Figura 7), resultado da aplicação do gesso agrícola.

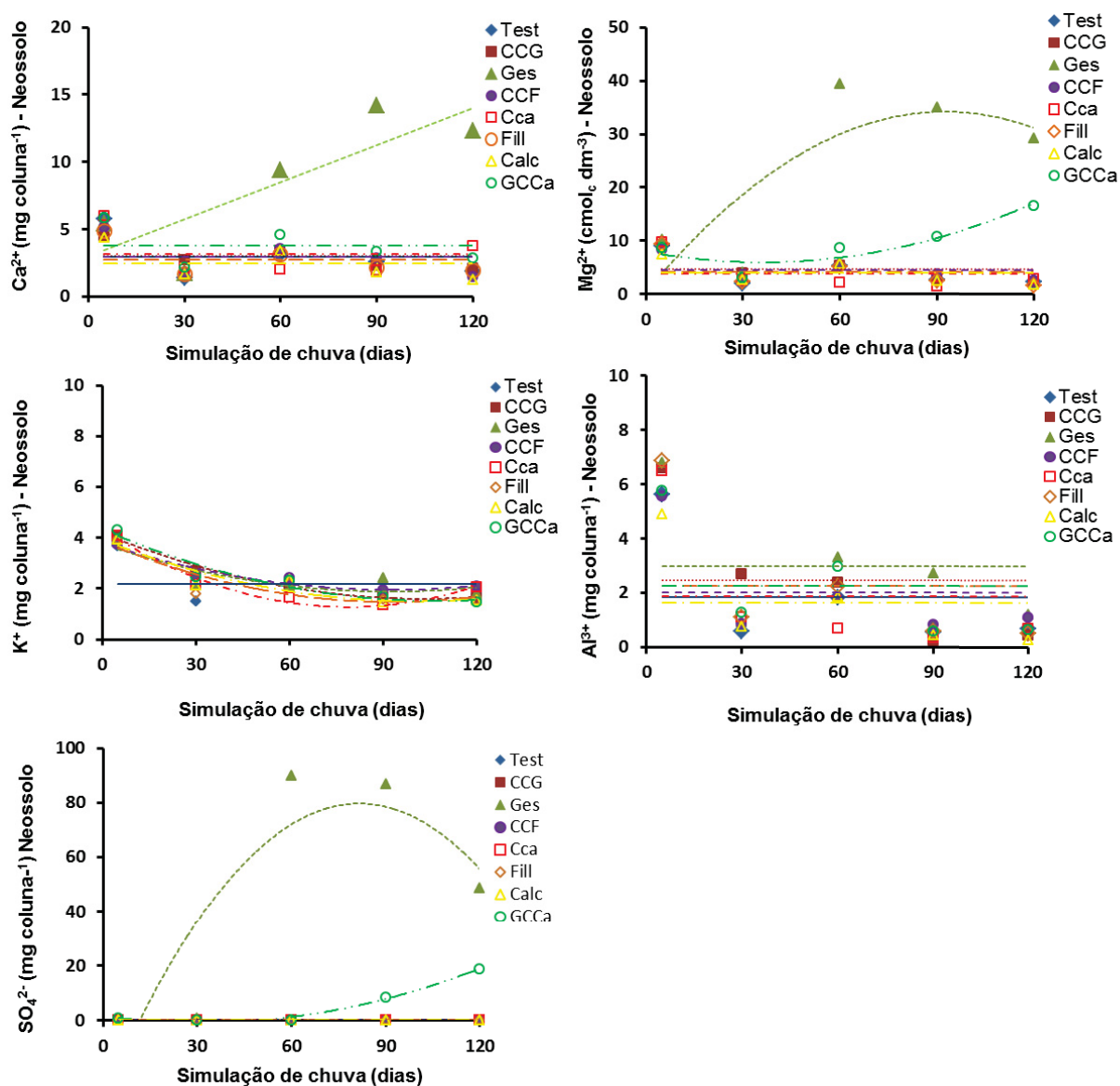
FIGURA 6 - CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, ALUMÍNIO E SULFATO NO LIXIVIADO AOS 5, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DOS CORRETIVOS NA SUPERFÍCIE DO LATOSSOLO VERMELHO EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO.



\*Test. = testemunha; CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

FONTE: O autor (2019).

FIGURA 7 - CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, ALUMÍNIO E SULFATO NO LIXIVIADO AOS 5, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DOS DIFERENTES CORRETIVOS NA SUPERFÍCIE DO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO EM COLUNA DE LIXIVIAÇÃO.



\*Test. = testemunha; CCG = calcário calcinado grosso; G+OM = gesso + óxido de magnésio; CCF = calcário calcinado fino; CCA = carbonato de cálcio; Filler = calcário filler; Calcário = calcário dolomítico; GCCA = gesso + carbonato de cálcio.

FONTE: O autor (2019).

A concentração de  $Mg^{2+}$  no lixiviado não diferiu entre os tratamentos nas duas primeiras simulações de chuva, em ambos os solos (Figuras 6 e 7). Nas lixiviações subsequentes, o teor de  $Mg^{2+}$  variou em função do tipo de solo estudado. No Latossolo, não foi constatada diferença entre os tratamentos em todas as simulações de chuva, enquanto que para o Neossolo, os dois tratamentos contendo gesso agrícola lixiviam quantidades superiores de  $Mg^{2+}$  em relação aos demais tratamentos.

Em trabalho a campo, Pauletti et al. (2014) descreveram forte lixiviação de  $Mg^{2+}$  quando houve aplicação de gesso. Este nutriente pode ser lixiviado na forma de íons  $Mg^{2+}$  ou formando par iônico com o  $SO_4^{2-}$  (ZAMBROSI et al., 2007). Quanto mais cargas o cátion tem, mais intensa a ligação iônica com o  $SO_4^{2-}$ , diminuindo na seguinte ordem  $MgSO_4 > CaSO_4 > K_2SO_4$  (RAMOS, 2012).

Os produtos aplicados não proporcionaram aumento da concentração de potássio na solução lixiviada. Observou-se apenas a diferença na concentração do mesmo entre os solos, com os menores valores ocorrendo no Latossolo e as maiores no Neossolo (Figuras 6 e 7). Esta baixa concentração de potássio no lixiviado está associado à baixa disponibilidade deste nutriente no solo, que apresentou uma concentração de 0,01 e 0,02  $cmol_c\ dm^{-3}$  na camada (0-10cm) para o Neossolo e Latossolo respectivamente, diminuindo assim, a possibilidade deste nutriente em se ligar ao sulfato e se movimentar no perfil do solo.

A movimentação do potássio presente na solução do solo ocorre preferencialmente pela água de drenagem (DUARTE; PEREIRA; KORNDORFER, 2013). Isso se verifica principalmente em solos arenosos com baixa CTC (ERNANI et al., 1993). Em solos com maior teor de argila, essa lixiviação é mais lenta resultando em maior retenção do nutriente no solo (WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008).

No trabalho desenvolvido por Nóia et al. (2014), em solo arenoso e argiloso, o gesso não proporcionou movimentação de  $K^+$  para camadas mais profundas, havendo apenas diferença de teor entre os solos, com os maiores valores no solo argiloso. Estes dados no lixiviado reproduzem o observado no solo (Tabela 9), sem haver modificação da movimentação do  $K^+$  pela aplicação dos diversos produtos.

As concentrações de S no lixiviado do Latossolo foram muito baixas, não havendo diferença entre os produtos. Porém no Neossolo, a aplicação de gesso +



óxido de magnésio proporcionou maior concentração deste elemento no lixiviado após a segunda simulação de chuva, seguido do tratamento com gesso + carbonato de cálcio. A presença de  $\text{SO}_4^{2-}$  no lixiviado provém da aplicação do gesso agrícola existente nestes tratamentos e a diferença na quantidade de sulfato lixiviado é em função da proporção deste produto utilizado em cada tratamento, que foi maior no primeiro.

O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) proveniente do gesso agrícola possui grande mobilidade no solo, podendo ser ainda maior em solos com textura arenosa (STIPP; CASARIN, 2010). Rampim et al. (2013), constataram que o gesso aumentou as concentrações de enxofre em todas as camadas do solo, e a maior quantidade percolada relacionou-se com o maior ou menor teor de matéria orgânica e a mineralogia do solo. A adsorção do sulfato é reduzida na presença de matéria orgânica e por minerais de argila, e aumentada em presença de óxidos de ferro e alumínio (RAIJ et al., 2008).

As concentrações de  $\text{Al}^{3+}$  no lixiviado foram muito distintas entre os solos. No Latossolo, os tratamentos não diferiram, mas todos seguiram uma mesma tendência quadrática com o passar das simulações de chuva, tendo os 90 e 120 dias as duas épocas com maiores concentrações de  $\text{Al}^{3+}$  no lixiviado, atingindo em seu máximo de  $2 \text{ mg coluna}^{-1}$  com o tratamento com gesso + óxido de magnésio.

No Neossolo, a tendência foi inversa, onde na primeira simulação de chuva, 5 dias após a aplicação dos tratamentos em superfície, foi constatada a maior concentração de  $\text{Al}^{3+}$  na solução lixiviada, com posterior diminuição e estabilidade nas demais épocas.

A lixiviação de  $\text{Al}^{3+}$  está relacionada ao gesso agrícola, uma vez que a liberação do anión  $\text{SO}_4^{2-}$  no sistema proporciona a formação do par iônico  $\text{AlSO}_4^+$ , que é menos tóxico às plantas e apresenta menor carga eletrostática, sendo menos retido aos colóides do solo e passível de movimentação ou lixiviação no perfil. Este fato vem sendo descrito em diversos trabalhos como o realizado por Carvalho et al. (2013), que observaram que a aplicação de gesso contribuiu para a diminuição de  $1,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Al}^{3+}$  e na redução de 14% da saturação por alumínio.

Outro caso mais recente foi relatado por Araújo et al. (2016), que observaram diminuição do teor de alumínio trocável em seu trabalho nas camadas de 20-40 e 60-80 e uma diminuição na saturação de alumínio de 12, 29 e 28 % nas camadas 40-60, 60-80 e 80-100cm, respectivamente.

Neste presente estudo, foi possível verificar a eficiência dos tratamentos contendo gesso agrícola em facilitar a movimentação de cátions no perfil do solo, com exceção do  $K^+$ , corroborando aos demais trabalhos encontrados na literatura (RAMPIM et al., 2011; CARVALHO et al., 2013; DALLA NORA; AMADO, 2013; PAULETTI et al., 2014; ZANDONA et al., 2015; ARAÚJO et al., 2016).

### 3.6. CONCLUSÕES

- Todos os produtos utilizados corrigiram o pH e eliminaram  $Al^{3+}$  tóxico na camada superficial (0 – 5 cm);
- A maior correção da acidez do solo em profundidade foi obtida com a aplicação superficial de carbonato de cálcio, que aumentou o pH e  $Ca^{2+}$  e diminuiu o  $Al^{3+}$  do solo até a camada 20 – 30 cm, nos dois solos estudados.
- Os diferentes corretivos de acidez não proporcionaram aumento de cátions no lixiviado, o que ocorreu com os tratamentos contendo gesso para  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^+$ ,  $Al^{3+}$  e sulfato para o solo com textura arenosa.
- A lixiviação de potássio é considerada baixa ou nula, quando se aplicou diferentes corretivos de acidez associado ou não ao gesso agrícola.

### 3.7. REFERÊNCIAS

- ABREU, E.M.X.; BARROS, J.V.; FERREIRA, R.A.S.; YADAVA Y.P.; SILVA, C. L. de; SOUZA, D.P.F. de **Análise microestrutural do efeito de diferentes pós hemidratado no desempenho dos moldes de gesso**. João Pessoa: Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2003.
- ADAMS, F.; RAWAYFIH, Z. Basalumite and alumite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, p.686-692, 1977.
- ALCARDE, J. C; Características de acidez dos corretivos do solo. In: ALCARDE, J. C; QUAGGIO, J. A; DALLMEYER, A. U; MIALHE, L. G; TOURINO, C; SANTOS, C. V. S; MATTOS, Z. P. B. **Simpósio sobre aplicação de calcário na agricultura**. Ipanema: Fundação Cargill, 1986. p. 1-20.
- ALCARDE, J. C; Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In ABRAHÃO, O; ALCARDE, J. A; AMARAL, C. M; AMARAL, V. B; BARROS, G. S. C; QUAGGIO, J. A; MALAVOLTA, E; MELLO, F. A. F; NEVOEIRO, D. F; ROCHA, M; VITTI, G. C. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: R. Vieira gráfica e editora LTDA, 1985. p. 97-117.
- ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES V. V. H. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2003. p.291-334.
- ARAÚJO, L.G.; FIGUEIREDO, C.C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R.S.; REIN T.A. Influence of gypsum application on sugarcane yield and soil chemical properties in the brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p.1557-1563, 2016.
- AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N. & BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:191-198, 1996.
- BELLINGIERI, P. A.; ALCARDE, J. C.; SOUZA, E. C. A. Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT. **An. ESALQ**, v.45, p.579-588, 1988.
- BERRO, M. S; CLEMENTE, L. F. M; GARCIA, E. A. S; MARONEZI, G. L; CONTE, A. M. Lixiviação de macronutrientes catiônicos em solos tratado com calagem e gesso agrícola e o desenvolvimento da cultura do milho. In: V JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UENP, 2015, Bandeirantes. **Anais...** Bandeirantes: UENP, 2015.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- CARVALHO, L. C.; BUENO, R. C. O. F.; CARVALHO, M. M.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. Novas técnicas de arranjos de semeadura na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.1940-1954, 2013.
- DALLA NORA, D.; AMADO, T. J. C. Improvement in chemical attributes of oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomy Journal**, v. 105, p. 1393-1403, 2013.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 195-200, 2013.

EMBRAPA SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. Ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C.; MORIGUTI, H.; GARCIA, M. M.; VACARO, M. Aplicação de gesso agrícola e lixiviação de potássio em solos catarinenses. **Universidade & Desenvolvimento**, v. 1, p. 7-16, 1993.

LOYOLA JR., E.; PAVAN, M. A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.131-138, 1989.

LOPES, A.S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. 3.ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1991. 15p. (ANDA. Boletim técnico, 1).

MALAVOLTA, E; Reação do solo e crescimento das plantas. In: ABRAHÃO, I. O; ALCARDE, J. A; AMARAL, C. M; AMARAL, V. B; BARROS, G. S. C; QUAGGIO, J. A; MALAVOLTA, E; MELLO, F. A.F; NEVOEIRO, D. F; ROCHA, M; VITTI, G. C. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: R. Vieira gráfica e editora LTDA, 1985. p. 3-57.

MARIA, I. C. de; ROSSETO, R.; AMBROSANO, E. J.; CASTRO, O. M. de. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia Agrícola**, v. 50, n.1, p. 87-98, 1993.

MARTINS, L. D; NOGUEIRA, N. O; TOMAZ, M. A; ANDRADE, F. V; BRINATE, S. V. B; REIS, E. F; Desenvolvimento inicial do café arábica em função de diferentes corretivos de acidez em um solo argiloso. In.: VI SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2009, Vitória. **Anais...** Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009. p. 1-5.

MERINO-GERGICHEVICH, C.; ALBERDI, M.; IVANOV, A.G.; REYES-DIAZ, M.  $Al^{3+}$ - $Ca^{2+}$  interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendments **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v.10, p.217–243, 2010.

MESQUITA, L. F; CARDOSO, J; ANDRADE, F. V; PASSOS, R. R. Escória de siderurgia e óxido de magnésio como corretivos da acidez em Latossolos. In.: XII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2008, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: UNIVAP, 2008. p. 1-4.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J.C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.45, p.251-256, 2002.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. de. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei Pouco Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.209-215, 2000.

NÓIA, N. R. C.; DAVALO, M. J.; RIBON, A. A.; WOSNIAK, H. N. Efeito de doses de gesso nas propriedades químicas do solo. **Acta Iguazu**, v. 3, p.10-21, 2014.

NOLLA, A.; KORNDORFER, G. H.; SILVA, T. R. B.; MUNIZ, A. S.; SILVA, M. A. G. Correção da acidez de um neossolo submetido à aplicação de carbonato e silicato de cálcio. **Journal of Agronomic Sciences**, v.2, n.1, p.113-120, 2013.

OATES, K. M.; CALDWELL, A. G. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.915-918, 1985.

OLIVEIRA, E. L., PARRA, M.S., COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo vermelho escuro Álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.65-70, 1997.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v.38, p. 47-57, 1996.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Curitiba: [s.n], 1990. 503 p.

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 16, p.86-91, 1994

PAULETTI, V; DE PIERRE, L; RANZAN, T; BARTH, G; MOTTA, A. C. V. Efeito em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p.495-505, 2014.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 28p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Documentos, 37)

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233 p.

RAMOS, B. Z; **Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfato em latossolo sob altas doses de gesso**. 96 f. Tese (Doutorado em Recursos Ambientais e Uso da Terra) – Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em latossolo vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p.1623-1638, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p. 1687-1698, 2011.

RAVAZZI, P. A. Teste biológico para detectar barreira química em amostras de subsolos ácidos. 2009. 69f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo – IAC, Campinas.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochimophysics**, v.4, p. 1-6, 1972.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; SANTANNA, M. A.; BRUNETTO, G.; DA SILVA, L. S. Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South Brazilian Campos. **Soil & Tillage Research**, v. 180, p. 222-231, 2018b.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, GUSTAVO. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018a.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.E. & GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:795-805, 2000.

SANTANA, G. S.; BIANCHI, P. P. M.; MORITA, I. M.; ISEPON, O. J.; FERNANDES, F. M. Produção e composição bromatológica da forragem do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.), submetidos a diferentes fontes e doses de corretivo de acidez. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 241-246, 2010.

SORRATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.675-688, 2008.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. CANTARUTTI, R. B. NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. pg. 206-274.

STIPP, S. R; CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. 7p. (Informações agrônômicas, n. 129).

TAMAS, L.; SIMONOVICOVA, M.; HUTTOVA, J.; MISTRIK, L. Changes in the composition of cell wall proteins in barley roots during germination and growth in aluminium presence, **Plant, Soil and Environment**, v. 49, p. 327–331, 2003.

VITTI, G.C.; LUZ, P. H.de C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. de E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008.

WALLACE, S. U.; ANDERSON, I. C. Aluminum toxicity and DNA synthesis in wheat roots. **Agronomy Journal**, n. 76, p. 5–8, 1984.

WERLE, R; GARCIA, R. A; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2293-2305, 2008.

ZAMBROSI, F. C. B; ALLENONI, L. R. F; CAIRES, E. F; Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural** [online], v.37, n.1, p. 110-117, 2007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782007000100018&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782007000100018&script=sci_abstract)

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p.128-137, 2015.

ZAPAROLLI, F. C. M. **As transformações pedológicas identificadas na topossequência sítio São José na bacia do córrego Aratu, Floraí – PR.** Dissertação. (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009. 155p.



#### 4. CAPÍTULO III: APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA NA MOVIMENTAÇÃO DE BASES NO PERFIL DE SOLOS PARANAENSES

##### RESUMO

Objetivou-se com esse estudo determinar a influência da aplicação de gesso agrícola em diferentes tipos de cultivo na movimentação  $K^+$  e outros cátions no perfil do solo. O ensaio foi conduzido em colunas de lixiviação, em ambiente protegido, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola na UFPR. O delineamento experimental adotado foi o de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial  $4 \times 3 \times 3$ , com 3 repetições. Os tratamentos avaliados foram: 4 doses de gesso agrícola aplicados em superfície (0, 4, 8 e  $16 \text{ ton ha}^{-1}$ ); 3 tipos de solo com diferentes mineralogias (Latosolo Vermelho, Neossolo Quartzarenico e Cambissolo Háplico); e 3 tipos de cultivo (sem cultivo, soja e triticales sucedido por soja). Os solos foram coletados nas profundidades 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm e dispostos nas colunas na mesma ordem, sendo corrigida a camada superficial e realizada a adubação com N.P.K. Em 1/3 das colunas, procedeu-se a semeadura do triticales, que foram mantidos até a floração. A aplicação das doses de gesso ocorreu em superfície, entre o corte do triticales e a semeadura da soja. A cultura da soja foi semeada em 2/3 das colunas. Simulações de chuva de 50mm foram realizadas aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação do gesso, e o lixiviado coletado e avaliado quanto aos valores de pH, Ca, Mg, K, Na e S-SO<sub>4</sub>. Após o término do experimento, as colunas foram abertas e os solos avaliados quimicamente nas 4 camadas estudadas, determinando-se os valores de pH (CaCl<sub>2</sub> e SMP), Al, Ca, Mg, K e P trocável e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. As doses de gesso proporcionaram acréscimos de bases e S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> em todos os solos avaliados, sofrendo influência da dose aplicada e do tipo de cobertura de solo. O gesso agrícola diminuiu os teores de Al<sup>3+</sup> na camada 10 – 20 cm e proporcionou aumento de pH nas camadas 20-40 e 40-60 cm. A movimentação do  $K^+$  no solo sofre maior influência pelo aumento no teor Ca<sup>2+</sup> do que pela adição de sulfato ao sistema. As diferentes doses de gesso e a textura dos solos interferem na lixiviação de nutrientes.

Palavras-chave: Condicionador do solo. Solução do solo. Lixiviação de nutrientes

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the influence of the application of agricultural gypsum on K<sup>+</sup> movement and other cations in the soil profile. The test was conducted in leach columns, in a protected environment, in the Department of Soils and Agricultural Engineering at UFPR. The experimental design was a randomized blocks in a factorial 4 x 3 x 3 with 3 replications. The treatments evaluated were: 4 doses of agricultural gypsum applied on the surface (0, 4, 8 and 16 ton ha<sup>-1</sup>); 3 types of soil with different mineralogy (Rhodic, and Entisol Cambisol); and 3 types of cultivation (fallow, soybean and triticale succeeded by soybeans). The soils were collected at depths 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm and arranged in columns in the same order, correcting the superficial layer and fertilization with N.P.K. In 1/3 of the columns, the triticale was sown, which were kept until flowering. The application of gypsum doses occurred on the surface, between triticale cutting and soybean sowing. The soybean crop was sown in 2/3 of the columns. 50mm rain simulations were performed at 15, 30, 60, 90 and 120 days after the gypsum application, and the leachate collected and evaluated for pH, Ca, Mg, K, Na and S-SO<sub>4</sub> values. After the end of the experiment, the columns were opened and the soils were chemically evaluated in the 4 studied layers and the pH values (CaCl<sub>2</sub> and SMP), Al, Ca, Mg, K and P exchangeable and SO<sub>4</sub>-2 were determined. The gypsum doses provided base additions and S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in all evaluated soils, but influenced the applied dose and the soil cover used. The gypsum decreased Al<sup>3+</sup> content in the layer 10-20 cm and provided to increase pH in the layers 20-40 and 40-60 cm. The movement of K<sup>+</sup> in the soil is more influenced by the increase in the Ca<sup>2+</sup> content than by the addition of sulfate to the system. Different doses of gypsum and soil texture interfere with nutrient leaching.

Key words: Soil conditioner. Soil solution. Leaching of nutrientes.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

As características químicas de um solo e sua adubação adequada são fatores fundamentais para o estabelecimento de sistemas agrícolas altamente eficientes. Os solos brasileiros, em sua grande maioria, apresentam baixa fertilidade natural, elevados teores de alumínio tóxico e baixa disponibilidade de cálcio em profundidade. Essas características são limitantes para o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (PAVAN et al., 1982; RITCHEY et al., 1982).

O sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), mais conhecido como gesso agrícola, é um produto secundário da fabricação de fertilizantes fosfatados, obtido da reação do ácido sulfúrico sobre a rocha fosfática, realizada com o fim de produzir ácido fosfórico (CHENG; MANTELL. 1990; SOUSA et al., 2005). A composição química básica deste produto é de 17% de enxofre, 17-20% de  $\text{Ca}^{2+}$  e 15% de água livre (NUERNBERG et al., 2005).

Apesar de não ser considerado um corretivo de acidez do solo, o gesso agrícola contribui indiretamente com a diminuição da toxidez do  $\text{Al}^{3+}$  trocável para as plantas, reduzindo a atividade desse elemento na solução do solo (SORATTO; CRUSCIOL, 2008). Este efeito ocorre pela indução de lixiviação de cátions junto ao ânion sulfato, que é originado da dissociação do sulfato de cálcio, resultando em incremento nos teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Indiretamente, o gesso aumenta os valores de pH no perfil do solo (FARINA; CHANNON, 1988), com conseqüente proliferação de raízes no subsolo e maior aproveitamento de água e de nutrientes pelas plantas (CAIRES et al., 2001; CAIRES et al., 2003).

A alta mobilidade do gesso agrícola tem sido atribuída à maior solubilidade e à presença de um ânion estável ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Este ânion pode formar um par iônico neutro com o íon  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ou  $\text{K}^+$ , favorecendo o transporte destes nutrientes até a subsuperfície do solo. O  $\text{SO}_4^{2-}$  pode ainda formar a espécie iônica  $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$ , que é menos disponível e tóxico às plantas (PAVAN et al., 1982; 1984).

A facilidade de formação de sulfatos percoláveis no solo é dependente da densidade de carga (relação carga/ raio) (MAHAN, 2003), que influencia diretamente a intensidade da ligação iônica do cátion com íons de cargas opostas, como  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . No solo, a ligação dos cátions com o ânion sulfato segue a seguinte ordem:

$\text{MgSO}_4^0 > \text{CaSO}_4^0 > \text{K}_2\text{SO}_4^0$ , podendo ser alterada em função do acréscimo de  $\text{Ca}^{2+}$  em razão de incrementos na adição de gesso.

O uso excessivo do gesso proporciona a adição de grandes quantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  que apresenta maior energia de adsorção aos colóides do solo, quando comparado com o  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ . Desta forma, caso não seja considerado o balanço de cargas dos colóides e a formação de sulfatos percolantes, pode haver um aumento na lixiviação dos nutrientes ao longo do perfil do solo (CAIRES et al., 2003; RAIJ, 2008).

A dose de gesso a ser aplicada varia em relação à textura do solo, sendo que, de acordo com SOUSA et al. (2005), pode ser estimada pela multiplicação do teor de argila, expressa em %, por um fator igual a 50 (para plantas anuais) ou 75 (para culturas perenes). Apesar das indicações técnicas sugeridas, alguns agricultores passaram a utilizar este insumo de maneira demasiada, aumento a dose do produto ou aplicando-o anualmente. A aplicação de doses elevadas de gesso pode promover um desequilíbrio entre os nutrientes no solo a médio e longo prazo, uma vez que este insumo tem a capacidade de lixiviar bases quando ligadas ao  $\text{SO}_4^{2-}$  durante sua percolação pelo solo.

A lixiviação de  $\text{Mg}^{2+}$  trocável tem sido frequentemente relatada em estudos envolvendo aplicação de gesso em solos agrícolas (SYED-OMAR; SUMNER, 1991; OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2003; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; PAULETTI et al., 2014), sendo verificadas perdas consideráveis deste elemento das camadas superficiais do solo para camadas mais profundas, em função da ligação com o ânion sulfato. No entanto, quando o estudo é direcionado ao  $\text{K}^+$ , ainda não existe consenso sobre os efeitos do gesso na lixiviação deste nutriente.

Alguns autores concluíram que a perda de  $\text{K}^+$  das camadas superficiais é baixa ou inexistente (ERNANI et al., 2001; SOUZA et al., 2012; RAMOS et al., 2013; PAULETTI et al. 2014). Em contrapartida, outros estudos também indicam que a lixiviação deste elemento ocorre devido ao deslocamento do  $\text{K}^+$  das cargas negativas do solo, pela substituição pelo  $\text{Ca}^{2+}$  ou pela ligação com o  $\text{SO}_4^{2-}$  (RITCHEY et al., 1980; ERNANI et al., 1993; RAMPIM et al., 2011). De acordo com Sousa e Ritchey (1986); Sumner (1995) e Jalali e Rowell, (2003), a lixiviação de  $\text{K}^+$  trocável é influenciada pelo tipo de solo, sendo que aqueles de textura arenosa tendem a lixiviar mais  $\text{K}^+$  devido à menor capacidade de retenção de cátions.

Diante das incertezas que envolvem a aplicação do gesso agrícola e sua relação na lixiviação de cátions no solo e balanço de nutrientes na planta, o objetivo desse trabalho foi determinar a influência da aplicação de gesso agrícola e diferentes coberturas do solo na movimentação  $K^+$  e outros cátions no perfil do solo.

#### **4.2. MATERIAL E MÉTODOS**

O ensaio foi conduzido em colunas de lixiviação em ambiente protegido, no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). O delineamento experimental adotado foi o de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial  $4 \times 3 \times 3$ , com 3 repetições. Os tratamentos avaliados foram: quatro doses de gesso agrícola aplicados em superfície (0, 4, 8 e  $16 \text{ ton ha}^{-1}$ ); três tipos de solo com diferentes mineralogias (Latossolo Vermelho, Neossolo Quartzarênico e Cambissolo Háplico); e três tipos de cultivo (sem cultivo, soja e triticales sucedido por soja).

A coleta dos solos se deu em três diferentes locais distintos no estado do Paraná. O Latossolo foi coletado na cidade de Cascavel-PR ( $24^{\circ}58'49''\text{S}$   $53^{\circ}27'04''\text{W}$ ) (Figura 8); o Neossolo foi coletado no Município de Ponta-Grossa, próximo ao Parque Estadual de Vila-Velha ( $25^{\circ}15'47''\text{S}$   $49^{\circ}59'57''\text{W}$ ) (Figura 9); e o Cambissolo foi coletado na Serra do Mar, ao lado da BR 277, sentido Curitiba/Paranaguá ( $25^{\circ}35'11''\text{S}$   $48^{\circ}57'10''\text{W}$ ) (Figura 10). As coletas foram realizadas por meio da abertura de trincheiras com profundidade 0,60 m (Figura 11).

Durante a coleta, separou-se o perfil em quatro profundidades: 0 - 10, 10 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, sendo retiradas subamostras de cada profundidade para a caracterização química inicial (SILVA et al. 1999) (Tabela 12, 13 e 14).



FIGURA 8 - LOCAL DE COLETA DO LATOSSOLO VERMELHO, NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL, PR.



FONTE: Google maps (2019).

FIGURA 9 - LOCAL DA COLETA DO NEOSSOLO, NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PR.



FONTE: Google maps (2019).



FIGURA 10 - LOCAL DE COLETA DO CAMBISSOLO, NA SERRA DO MAR, PR.



FONTE: Google maps (2019).

FIGURA 11 - TRINCHEIRAS ABERTAS NOS LOCAIS DE COLETA DE SOLO, LATOSSOLO, CAMBISSOLO E NEOSSOLO.



FONTE: O autor (2019).



TABELA 12- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA<sup>1</sup> E TEXTURAL DO LATOSSOLO COLETADO EM QUATRO PROFUNDIDADES, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, EM CASCAVEL, PR.

Prof. cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	pH (SMP)	Al -----	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg -----	K -----	P mg kg <sup>-1</sup>	V %
0 a 10	3,80	5,10	1,9	0,6	0,3	0,01	0,7	8,58
10 a 20	3,90	5,10	1,6	0,4	0,2	0,01	0,3	5,92
20 a 40	3,95	5,20	1,5	0,3	0,2	0,01	0,3	5,36
40 a 60	4,15	5,70	0,5	0,4	0,2	0,00	0,3	8,95

	M.O. g kg <sup>-1</sup>	CTCe cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTCp %	m%	Argila g kg <sup>-1</sup>
0 a 10	36,72	2,81	10,61	67,61	708
10 a 20	21,03	2,21	10,31	72,39	675
20 a 40	32,76	2,01	9,51	74,62	688
40 a 60	11,55	1,00	6,70	50,00	653

<sup>1</sup>Al, Ca e Mg extraídos por KCl 1 M e P, K, Cu, Fe, Mn e Zn extraídos por Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M).

FONTE: O autor (2019).

TABELA 13- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA<sup>1</sup> E TEXTURAL DO NEOSSOLO COLETADO EM QUATRO PROFUNDIDADES, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, EM PONTA-GROSSA, PR.

Prof. cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	pH (SMP)	Al -----	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg -----	K -----	P mg kg <sup>-1</sup>	V %
0 a 10	3,65	4,70	2,9	0,1	0,3	0,01	2,1	3,03
10 a 20	3,70	4,80	3,0	0,1	0,2	0,01	2,8	2,47
20 a 40	3,74	4,90	2,8	0,0	0,0	0,00	1,4	0,00
40 a 60	3,80	4,90	2,8	0,0	0,0	0,00	1,4	0,00

	M.O. g kg <sup>-1</sup>	CTCe cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTCp %	m%	Argila g kg <sup>-1</sup>
0 a 10	44,82	3,31	13,51	87,61	150
10 a 20	40,86	3,31	12,51	90,63	153
20 a 40	30,86	2,8	11,30	100	162
40 a 60	21,03	2,8	11,30	100	184

<sup>1</sup>Al, Ca e Mg extraídos por KCl 1 M e P, K, Cu, Fe, Mn e Zn extraídos por Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M).

FONTE: O autor (2019).

TABELA 14- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA<sup>1</sup> E TEXTURAL DO CAMBISSOLO COLETADO EM QUATRO PROFUNDIDADES, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO, EM PINHAIS, PR.

Prof. cm	pH (CaCl <sub>2</sub> )	pH (SMP)	Al -----	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg -----	K -----	P mg kg <sup>-1</sup>	V %
0 a 10	3,75	5,30	2,7	0,1	0,2	0,01	1,4	3,56
10 a 20	3,83	5,10	3,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,00
20 a 40	3,84	5,10	3,1	0,0	0,1	0,0	0,5	1,02
40 a 60	3,78	5,20	2,6	0,0	0,0	0,0	0,7	0,00

	M.O. g kg <sup>-1</sup>	CTCe cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTCp %	m% %	Argila g kg <sup>-1</sup>
0 a 10	21,03	3,01	8,71	89,70	718
10 a 20	17,24	3,20	9,70	100,0	720
20 a 40	13,45	3,11	9,80	99,67	690
40 a 60	25,00	2,60	9,00	100,0	682

<sup>1</sup>Al, Ca e Mg extraídos por KCl 1 M e P, K, Cu, Fe, Mn e Zn extraídos por Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M).

FONTE: O autor (2019).

Antes do início do experimento, os solos coletados foram secos ao ar e peneirados em peneira de malha de 4mm. Em seguida, foi realizada a correção do mesmo, na camada de 0-10 cm, através da calagem, com elevação da V% para 60%. A correção do solo foi realizada no dia 19/05/2017 e o corretivo utilizado foi o calcário Filler, com as seguintes características: 21,1% de CaO; 12,6% de MgO; e 105% de PRNT. O corretivo foi aplicado na camada superficial (0-10 cm) nos três solos, que foram mantidos em capacidade de campo com aplicação de água deionizada durante o período de incubação (15 dias).

Após o período de 15 dias, procedeu-se à adubação com N, P e K. As doses utilizadas foram de 150 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de N e P, respectivamente e, para o K, a adubação foi realizada para atingir 5% da CTC potencial de cada solo, onde foi necessária a aplicação de 207, 263 e 170 mg kg<sup>-1</sup> de K para o Latossolo, Neossolo e Cambissolo, respectivamente.

As fontes de adubação utilizadas no fornecimento de N, P e K foram o fosfato de potássio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>); DAP- fosfato diamônico ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) e o nitrato de amônio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Na implantação da soja, a adubação nitrogenada foi substituída pela inoculação das sementes com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, por meio de inoculação com material turfoso (4g kg<sup>-1</sup>).

Após a incubação dos solos com calcário, os mesmos foram dispostos nas colunas de lixiviação utilizando amostras deformadas (SAMPAIO et al., 2010). Esta disposição seguiu a mesma ordem de coleta, onde o solo coletado na camada 40 - 60 cm foi disposto no fundo da coluna na mesma profundidade e, assim sucessivamente, nas camadas 20 - 40, 10 - 20 e 0 - 10 cm.

As colunas foram confeccionadas em cano PVC rígido, possuindo 15 cm de diâmetro e 60 cm de altura. Em cada lado do cano, foram abertos três cortes de 15cm no sentido longitudinal, a cada 5cm, que foram preenchidas posteriormente com silicone e cobertas com fita adesiva para facilitar a abertura das mesmas após a condução do experimento. As paredes internas das colunas foram lixadas e, posteriormente, revestidas com uma camada de parafina, para que o solo tivesse melhor adesão ao cano e para evitar o fluxo preferencial da solução do solo pelas extremidades internas do mesmo (Figura 12).

Em cada coluna, a extremidade inferior foi vedada com um tecido *Voil* e em seguida acoplada um CAP de fechamento, no qual foi conectado um cano de meia polegada no centro, a fim de se direcionar o fluxo da solução percolante (Figuras 13 e 14).

FIGURA 12 - APLICAÇÃO DE PARAFINA NAS COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 13 - CAP DE FECHAMENTO DA EXTREMIDADE DO CANO E TECIDO FILTRO.



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 14 - COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO PRONTAS PARA RECEBER O SOLO.



FONTE: O autor (2019).

A semeadura do triticale, nas unidades experimentais correspondentes a este tratamento, foi realizada uma semana após a adubação, no dia 10/06/2017, utilizando-se 10 sementes por coluna, com objetivo exclusivo de formação de cobertura no solo e crescimento de raízes ao longo da coluna. Após a emergência, realizou-se o desbaste, mantendo cinco plantas por coluna. Quando pelo menos 2 plantas atingiram o estágio de floração (aproximadamente aos 90 dias após a emergência), as mesmas foram cortadas rente ao solo, picadas em porções de 2cm, e secas em estufa de circulação forçada de ar em sacos de papel para, posteriormente, serem distribuídas sobre o solo nas colunas respectivas em que foram coletadas.

A semeadura de soja, cultivar Monsoy 5917 IPRO, foi realizada no dia 14/11/2017 em 2/3 das colunas de lixiviação, após a deposição da palhada de triticale sobre o solo, nas unidades experimentais correspondentes a este tratamento, utilizando-se quatro sementes por coluna. Aproximadamente 10 dias após a emergência, procedeu-se o desbaste, mantendo-se duas plantas por coluna, que foram cultivadas até a maturação fisiológica, que ocorreu aos 120 dias após a semeadura.

A aplicação das doses de gesso (0; 4; 8 e 16 ton ha<sup>-1</sup>) ocorreu em superfície, entre a deposição das plantas de triticale na superfície do solo e a semeadura da soja, em todos os tratamentos, inclusive naqueles sem cultivo.

As colunas foram mantidas na capacidade de campo durante todo o período de condução do experimento. Para isto, duas vezes por semana, procedeu-se à pesagem de uma coluna com cada tipo de solo, para se estimar a quantidade de água deionizada a ser aplicada nas demais unidades experimentais, sendo este valor correspondente à diferença entre o peso da coluna saturada e o peso atual da coluna.

Para avaliação da lixiviação de nutrientes, foram realizadas simulações de chuva, com a aplicação do equivalente a 50mm de água deionizada por coluna, aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação do gesso em superfície. Após cada simulação de chuva, a solução percolada foi coletada por 24 horas, no intuito de se obter toda a solução lixiviada. Em seguida, esta solução foi filtrada e armazenada, para posterior determinação do volume, pH, e concentrações de cátions (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>) e ânion (S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) (Silva et al. 1999).

Após a colheita das plantas de soja, as colunas foram abertas e o solo subdividido em quatro camadas: 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm (Figura 15).

FIGURA 15 - COLUNAS DE LIXIVIAÇÃO ABERTAS PARA COLETA DAS SUB-AMOSTRAS DE SOLO APÓS O FIM DO EXPERIMENTO.



FONTE: O autor (2019).

Em cada camada de solo, retirou-se uma subamostra, que foram secas em estufa a 65° C e peneiradas em malhas de 2 mm de diâmetro, para posterior análise química e determinação de: pH ( $\text{CaCl}_2$  e SMP), Al, Ca, Mg, K trocável e P disponível, segundo metodologias descritas por Embrapa (1997) e o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) pelo método baseado na extração de sulfato pela solução de fosfato de cálcio (RAIJ et al. 2001).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão, com o auxílio do programa estatístico SAEG.



### 4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1. SOLO

O pH na camada superficial (0-10 cm) foi superior às outras camadas de solo (10-20; 20-40 e 40-60 cm) (Figura 16). Esse resultado está associado à adição de calcário antes da instalação do experimento, com objetivo de elevar a saturação por bases para 60% visando o cultivo do triticale e da soja.

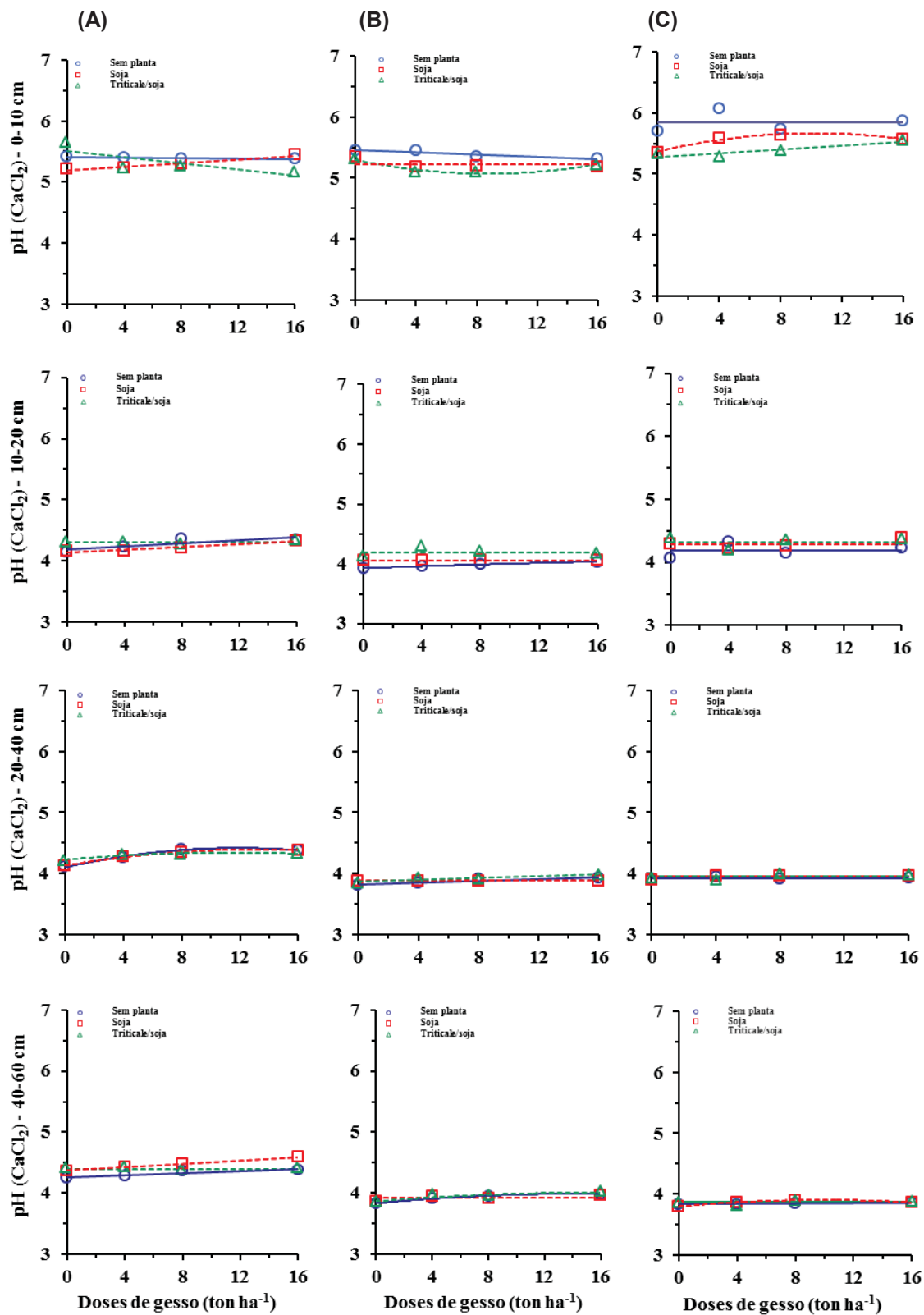
Na camada superficial dos solos, não foi observado ajuste de modelo de regressão para o tratamento sem planta no Cambissolo, cujo valor médio de pH foi 5,85. Já para o Latossolo e Neossolo, houve ajuste linear para o tratamento sem cobertura, com diminuição do pH à medida em que se aumentou as doses de gesso. O pH destes solos variou de 5,41 a 5,37 para o Latossolo e de 5,44 a 5,32 para o Neossolo, nas doses 0 e 16 toneladas  $\text{ha}^{-1}$  de gesso, respectivamente.

Para as colunas de lixiviação com cultivo de soja, o efeito no pH ocorreu de formas distintas entre os solos. No Latossolo, ocorreu aumento linear do pH à medida que as doses de gesso aumentaram; por outro lado, no Neossolo não houve variação, com valor médio de pH de 5,23, e no Cambissolo, o ajuste de modelo foi o quadrático com o maior valor observado na dose de 10,1 toneladas  $\text{ha}^{-1}$  de gesso, com o pH de 5,66.

Ocorreu diminuição abrupta do pH na segunda camada avaliada (10 – 20 cm) em relação à superficial (0-10 cm) em todos os solos avaliados, estando este efeito associado à baixa mobilidade do calcário no perfil do solo em um período curto de tempo. O efeito dos tipos de cultivo nesta camada em função das doses aplicadas foram menos expressivos. Para todos os cultivos avaliados, nenhum ajuste de tendência foi verificado no Cambissolo, com valores de pH de 4,19; 4,28 e 4,31 para os tratamentos sem planta, soja e triticale sucedido de soja, respectivamente.



FIGURA 16 - VARIAÇÃO DO pH DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA, EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO(C)).



FONTE: O autor (2019).

Para o Neossolo, apenas no tratamento sem planta, obteve ajuste significativo do modelo linear. No Latossolo, nos tratamentos com soja e sem planta, houve ajustes de tendência linear, enquanto com o cultivo de triticale sucedido de soja, não houve ajuste de modelo.

Na camada 0-40 cm, foi observado um ajuste quadrático para todos os cultivos no Latossolo, com incremento no pH até a dose de 8 ton ha<sup>-1</sup>. As equações de regressão indicam um efeito das doses de gesso nos três tipos de cultivo para o Neossolo, com ajuste linear crescente com o aumento das doses de gesso, para os tratamentos triticale sucedido de soja e sem planta. Já para o Cambissolo, nenhum ajuste significativo foi observado.

Na última camada (40-60 cm), praticamente todos os tipos de cultivo proporcionaram ajuste significativo, com exceção do triticale sucedido de soja (no Latossolo e no Cambissolo) e soja (Neossolo). No Latossolo, a ausência de planta e o cultivo de soja tiveram uma tendência linear; para o Neossolo, em condições de ausência de planta, obteve-se um ajuste quadrático com aumento no pH até a dose de 13,7 ton ha<sup>-1</sup> seguido de estabilização, enquanto o cultivo de triticale sucedido de soja proporcionou tendência linear. Para o Cambissolo a tendência foi linear sem planta e quadrática com o cultivo de soja.

A partir da camada 10-20 cm, observou-se tendência de aumento nos valores médios de pH, em função do aumento nas doses de gesso aplicadas, contudo, com baixa intencidade. Este efeito não era esperado, pois o gesso é considerado um sal neutro, que não possui propriedades corretivas, uma vez que o sulfato remanescente de sua dissociação não é um receptor de prótons (H<sup>+</sup>) como carbonato derivado da dissociação do calcário (RAIJ, 2008).

Entretanto, estudos realizados em diferentes regiões brasileiras relataram efeito semelhante ao verificado no presente trabalho, onde o pH é alterado nas camadas subsuperficiais do solo pela adição de gesso (CARVALHO; RAIJ, 1997; CAIRES et al., 1999, 2003; PAULETTI et al., 2014). Esses autores atribuem este efeito ao acúmulo de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> em subsuperfície, que promove uma troca de ligantes com os óxidos hidratados ferro (Fe) e (Al).

De acordo com Reeve e Sumner (1972) e Caires et al., (2003), essa reação do aumento de pH em subsuperfície ocorre quando os óxidos hidratados de Fe e Al, que retêm hidroxilas (OH<sup>-</sup>), se deparam a um grande teor de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, derivado da

solubilização e dissociação do gesso, e passam a adsorvê-lo, liberando  $\text{OH}^-$  na solução do solo, que, conseqüentemente, provoca a elevação do pH.

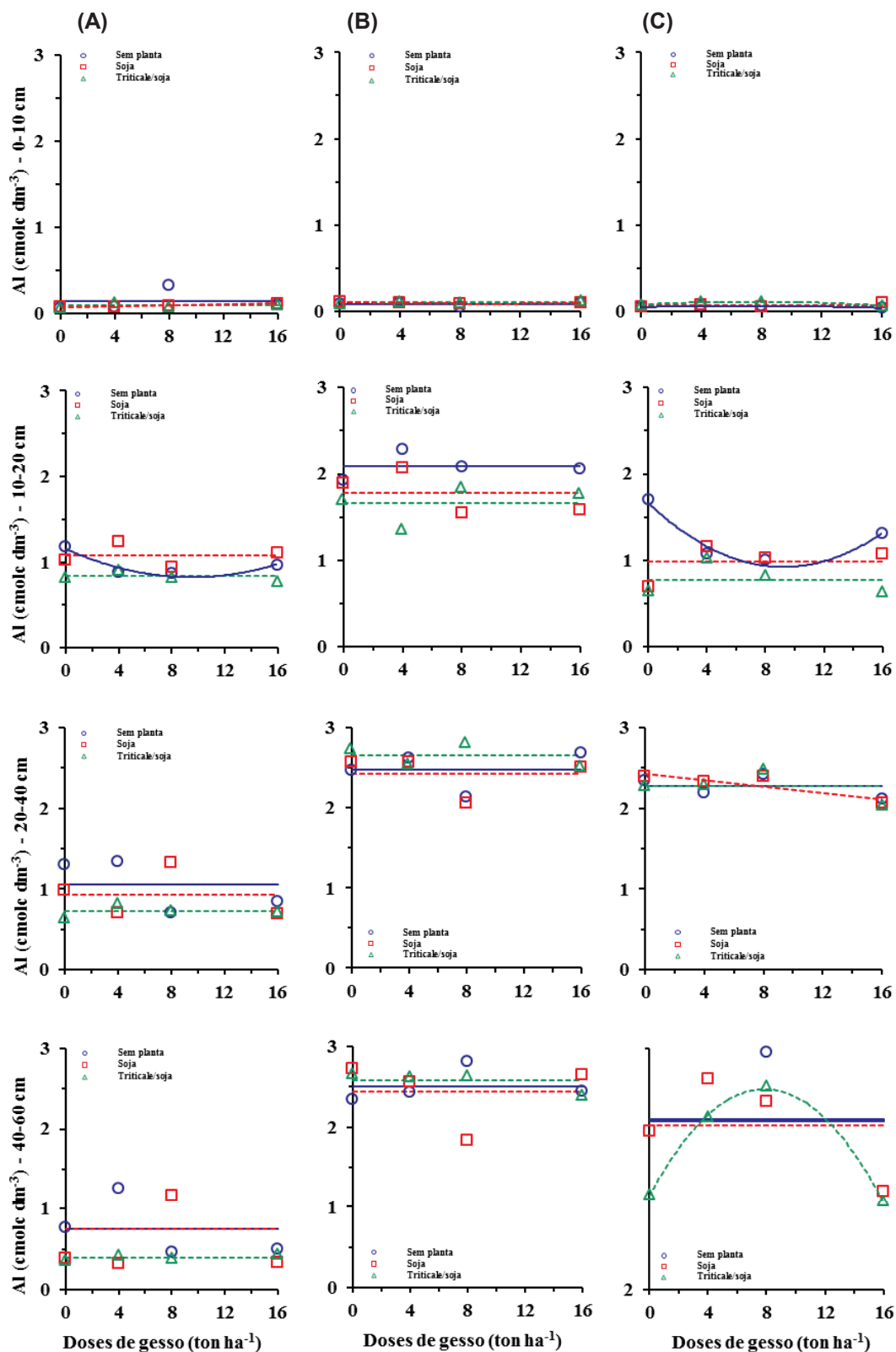
No entanto, segundo RAIJ (2008) essa não pode ser considerada uma reação de neutralização permanente, pois é termodinamicamente instável e reversível com a hidrólise do íon  $\text{SO}_4^{2-}$ . Essa afirmação foi confirmada por Quaggio et al. (1993), que trabalhando com o efeito de doses de gesso em um Latossolo Vermelho verificaram aumento do pH aos 6 meses após a aplicação, o que foi não verificado na avaliação subsequente, ocorrida aos 16 meses.

Na Figura 17, é apresentada, a concentração de  $\text{Al}^{3+}$  nas três coberturas de solo (sem planta, soja e triticales sucedido de soja), em função das doses de gesso nos solos avaliados.

O teor de  $\text{Al}^{3+}$  foi praticamente nulo na camada superficial (0-10 cm), nos três solos estudados. Este efeito está relacionado à aplicação de calcário nesta camada antes da implantação do experimento. Contudo, alguns ajustes foram significativos, como observado com o cultivo da soja no Latossolo e Neossolo, com ajuste linear e quadrático, respectivamente. No Cambissolo, o modelo quadrático também foi significativo para os tratamentos sem planta e triticales sucedido de soja.

A partir da camada 10-20 cm, foram poucas as tendências significativas. Este fato pode estar relacionado à variabilidade dos dados obtidos neste experimento. Na camada 10-20 cm, apenas a ausência de planta proporcionou ajuste do modelo quadrático no Latossolo e Cambissolo, sendo observados valores menores da concentração de  $\text{Al}^{3+}$  quando se aplica o gesso agrícola, independente da dose aplicada. Na profundidade 20-40 cm, apenas com o cultivo da soja ocorreu ajuste linear significativo, com diminuição no teor de  $\text{Al}^{3+}$  em função do aumento das doses de gesso. Por fim, na camada 40-60 cm, o cultivo de triticales sucedido de soja, apresentou um ajuste quadrático do modelo, onde se observou aumento no teor de  $\text{Al}^{3+}$  nas doses 4 e 8  $\text{ton ha}^{-1}$ , seguida de diminuição na dose 16  $\text{ton ha}^{-1}$ .

FIGURA 17 - VARIAÇÃO DO AI TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDO DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).



FONTE: O autor (2019).

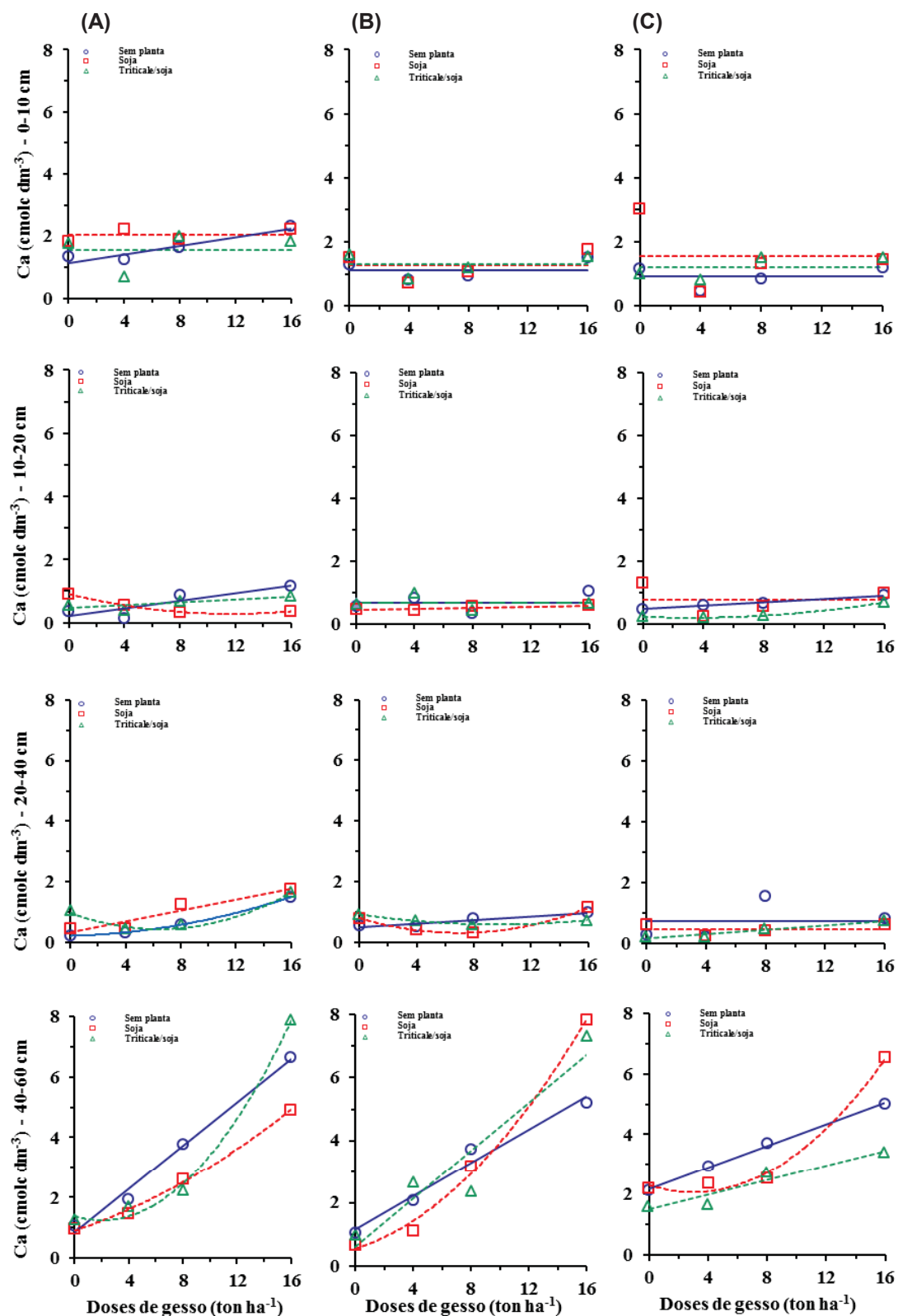
Apesar do efeito do gesso sobre o  $\text{Al}^{3+}$  não ser tão perceptível neste experimento, diversos trabalhos relataram um efeito mais efetivo na diminuição do  $\text{Al}^{3+}$  tóxico às plantas (SINGH, 1982; PAVAN et al. 1984; PAVAN; BINGHAM 1986; SUMNER et al. 1986; CAMERON et al. 1986; FARINA; CHANNON 1988; SOUSA et al. 1996).

Resultados semelhantes vêm sendo apresentados em trabalhos mais recentes, sendo o teor de alumínio trocável diminuído em camadas mais profundas do solo através da gessagem (RAMPIM et al., 2011; PAULETTI et al., 2014). Um exemplo é o trabalho conduzido por Carvalho et al. (2013), que observaram diminuição de  $1,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Al}^{3+}$  e na redução de 14% da saturação por alumínio, com a aplicação de gesso. Araújo et al. (2016) também relataram a diminuição do teor de alumínio trocável, nas camadas de 20-40 e 60-80 cm e diminuição na saturação por alumínio de 12, 29 e 28 %, nas camadas 40-60, 60-80 e 80-100 cm, respectivamente.

Esta diminuição no teor do alumínio trocável em função da aplicação de gesso agrícola pode estar relacionada a três hipóteses, sendo o primeiro relacionado à auto calagem, que consiste no aumento significativo no teor de  $\text{SO}_4^{2-}$  na solução do solo, que substitui as hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) através da troca de ligantes, liberando-as para a solução, resultando na formação de estruturas hidroxiladas de alumínio (REEVE; SUMNER, 1972); a segunda hipótese está associada à formação de minerais, derivados da precipitação de alumínio presente na solução do solo (ADAMS; RAWAYFIH, 1977); e a diminuição da disponibilidade de  $\text{Al}^{3+}$  também pode estar relacionada à formação de complexos menos tóxicos para as plantas com a ligação com o  $\text{SO}_4^{2-}$  proveniente do gesso, formando assim  $\text{AlSO}_4^+$  e sendo lixiviado para as camadas mais profundas do solo (PAVAN et al., 1984; OATES; CALDWELL, 1985; RAIJ, 2008).

Os teores de Ca aumentaram de forma linear na camada de 0-10 cm (Figura 18) na ausência de cultivos (sem planta), somente no Latossolo.

FIGURA 18 - VARIAÇÃO DO Ca TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZRÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).



FONTE: O autor (2019).

Da mesma forma, na profundidade 10-20 cm nas colunas de lixiviação que não possuíam plantas, constatou-se tendência linear crescente em função das doses de gesso aplicadas para o Latossolo e Cambissolo. Nas colunas em que foram realizadas o cultivo de plantas (soja e triticales sucedido de soja), obteve-se ajuste ao modelo quadrático, com a diminuição nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  para as doses 4 e 8  $\text{ton ha}^{-1}$  e posterior aumento na dose de 16  $\text{ton ha}^{-1}$  para estes dois solos.

Na camada 20-40 cm, a tendência de aumentar o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  em função das maiores doses de gesso começa e ser mais intensificada. No Latossolo em condições de ausência de cultivo e de cultivo de soja, constatou-se aumento linear; e no tratamento onde se cultivou triticales seguido de soja, observou-se ajuste de modelo quadrático, com acréscimo na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  com aplicação de gesso. No Neossolo verificou-se tendência linear para as colunas sem plantas e quadrática para as demais, e para o Cambissolo somente o cultivo com triticales seguido de soja proporcionou tendência de aumento linear no teor destes nutrientes.

Na última camada avaliada (40-60 cm), fica evidenciado o efeito do gesso agrícola em adicionar  $\text{Ca}^{2+}$  em profundidade. Em todos os tratamentos, houve acentuado acréscimo linear ou quadrático no teor de  $\text{Ca}^{2+}$  com o aumento nas doses de gesso.

Desde o início da década de 1980, as pesquisas realizadas no Brasil com o gesso agrícola vêm demonstrando sua eficiência em disponibilizar cálcio em profundidade (RITCHEY et al., 1980, 1982; PAVAN, 1986; MORELLI et al. 1987; QUAGGIO et al., 1993; SILVA et al. 1995; SILVA et al., 1997). Este incremento nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em profundidade, está relacionado diretamente com a disponibilidade e aplicação deste nutriente no solo, seguido da sua movimentação pelo perfil pela ligação com o ânion  $\text{SO}_4^{2-}$ , permitindo sua movimentação até a subsuperfície (COSTA, 2011).

Caires et al. (1998), observando as características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico da região de Ponta-Grossa, constataram elevação nos teores de cálcio em todo o perfil, sendo que após 24 meses, cerca de 60% do cálcio aplicado na maior dose (12  $\text{ton ha}^{-1}$ ) já havia se movimentado até 80 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos subsequentes (CAIRES et al., 1999, 2003, 2006).

Estudos mais recentes também mostram a mesma tendência, onde o cálcio proveniente da aplicação de gesso é deslocado no perfil do solo, aumentando assim



o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável (RAMPIM et al., 2011; CARVALHO et al., 2013; DALLA NORA; AMADO, 2013; PAULETTI et al., 2014; ARAÚJO et al., 2016). Zandoná et al., (2015) observaram também que a aplicação de gesso resultou em acréscimos nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, na camada de 0-10 cm de profundidade, aos 9 meses após a aplicação com aumento de 34% quando comparado à testemunha, e de aproximadamente 25 % na camada de 10-20 cm, indicando a translocação vertical do  $\text{Ca}^{2+}$  para essa camada.

A distribuição de cálcio por todo o perfil do solo, é considerada benéfica para as culturas, pois favorece o desenvolvimento radicular (RITCHY et al. 1980), proporcionando maior aproveitamento da água e nutrientes, ajudando-as com possíveis problemas climáticos, como o déficit hídrico (PAVAN et al., 1982; RITCHEY et al., 1982).

O teor de  $\text{Mg}^{2+}$  da camada superficial (0-10 cm), diminuiu de forma acentuada a medida em que se aumentou as doses de gesso nos três solos estudados (Figura 19), com exceção do tratamento com cultivo de soja no Cambissolo, onde não se constatou ajuste a nenhum modelo.

Na profundidade subsequente (10-20 cm), os efeitos das doses crescentes de gesso, foram novamente observados, porém, com menor intensidade, devido ao menor teor deste nutriente na camada descrita. No Latossolo, apenas o cultivo de triticle/soja resultou em efeito linear; já nos demais tratamentos, não se obteve ajuste a nenhum modelo. No Neossolo, a ausência de planta e o cultivo da soja resultaram em ajuste do modelo linear, e a cobertura triticle seguido de soja ao modelo quadrático. Para o Cambissolo, o efeito das doses foi linear para as colunas sem plantas e quadrático para as colunas com triticle sucedidas de soja.

Na terceira camada avaliada (20-40 cm), não ocorreu grande influência das doses aplicadas, onde apenas a cobertura de triticle seguido de soja se ajustou ao modelo linear no Neossolo e quadrático no Cambissolo. Na última camada (40-60 cm), o efeito do gesso não foi verificado no Neossolo e no Cambissolo. Entretanto, no Latossolo, é possível observar acúmulo de  $\text{Mg}^{2+}$  onde as maiores doses de gesso foram aplicadas, sendo este acúmulo proveniente da movimentação de  $\text{Mg}^{2+}$  da camada superior da coluna (0-10 cm).

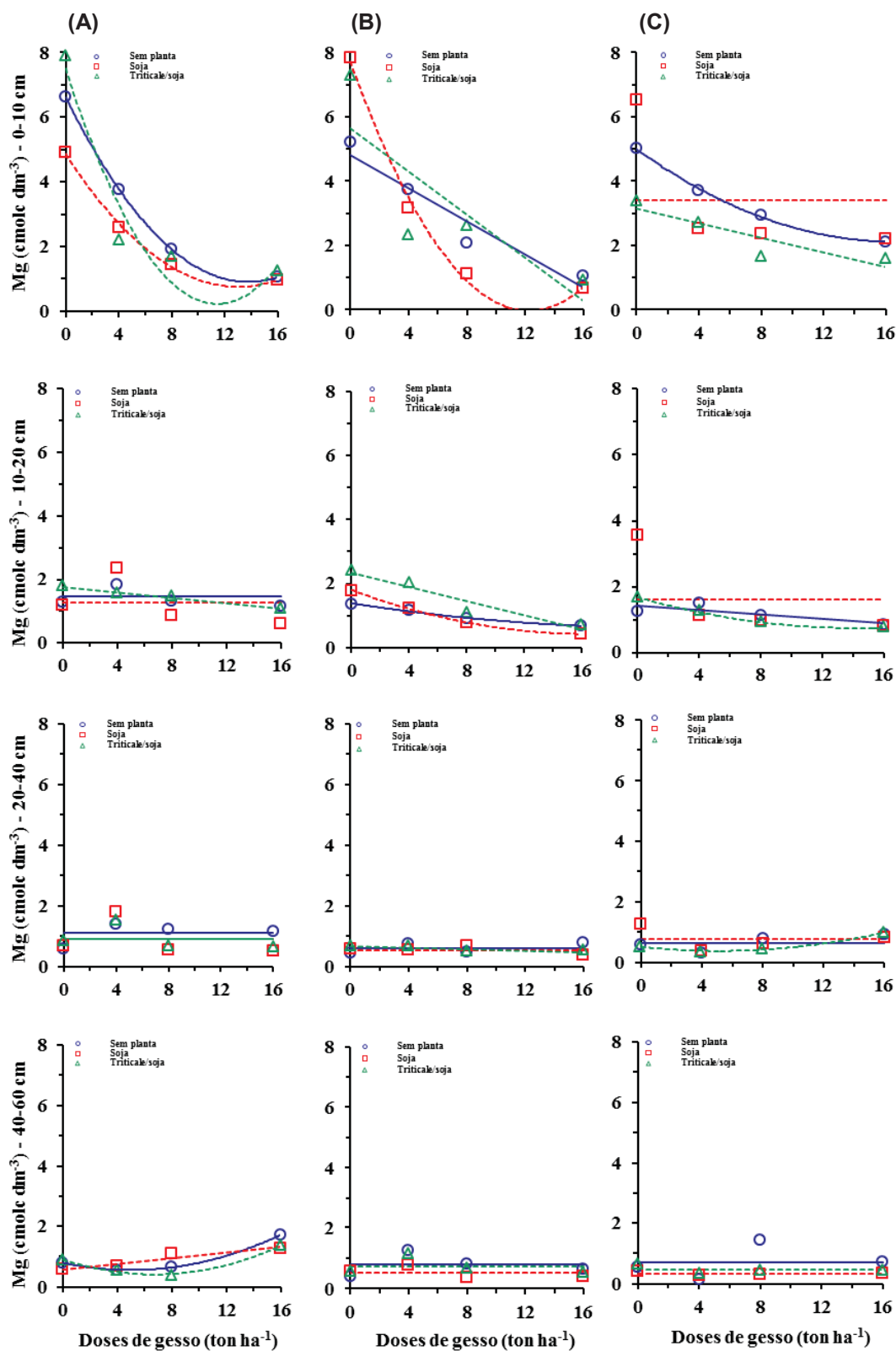
Diversos são os trabalhos relatando a movimentação do  $\text{Mg}^{2+}$  pela aplicação do gesso (QUAGGIO et al., 1982; ROSOLEM; MACHADO, 1984; CARVALHO et al., 1986; SYED-OMAR; SUMNER, 1991; QUAGGIO et al., 1993; SILVA et al., 1997;

CAIRES et al. 2003). Caires et al., (1999) contataram que a aplicação de calcário e gesso na superfície de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado há 15 anos no sistema plantio direto, resultou na lixiviação de  $Mg^{2+}$ , em profundidades de até 60 cm.

Pesquisadores envolvidos nesta linha de pesquisa acreditam que o elevado fornecimento de  $Ca^{2+}$  derivado da solubilização do gesso promova a substituição do  $Mg^{2+}$  presente nos colóides do solo (LOYOLA JR; PAVAN, 1989), fazendo com que o mesmo vá para a solução do solo e assim seja distribuído para as camadas mais profundas através da ligação com o  $SO_4^{2-}$ , formando o par iônico  $MgSO_4^0$  (QUAGGIO et al., 1982).

Zambrozi et al. (2007), estudando o efeito da aplicação de doses de gesso (3, 6 e 9 ton ha<sup>-1</sup>) na solução do solo extraída de um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, constatou que a espécie de Mg mais presente na solução é em sua forma livre  $Mg^{2+}$ , independente da dose de gesso aplicada, seguida de sua associação com o  $SO_4^{2-}$  o que segundo os autores ajuda a elucidar o porquê da aplicação de gesso favorecer na lixiviação de  $Mg^{2+}$ .

FIGURA 19 - VARIAÇÃO DO Mg TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA, EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).



FONTE: O autor (2019).

De modo geral, os teores de  $K^+$  foram alterados tanto pelas doses de gesso aplicadas quanto pelo tipo de cultivo e solo utilizado (Figura 20). Na camada de 0-10 cm, em condições de ausência de cultivo, ocorreu tendência semelhante para a Latossolo e Neossolo, ajustando-se ao modelo quadrático, com os menores valores nos teores de  $K^+$  encontrados nas doses de 10,54 e 10,32  $\text{ton ha}^{-1}$ , para o Latossolo e Neossolo respectivamente; já para o Cambissolo, não foi verificado ajuste significativo.

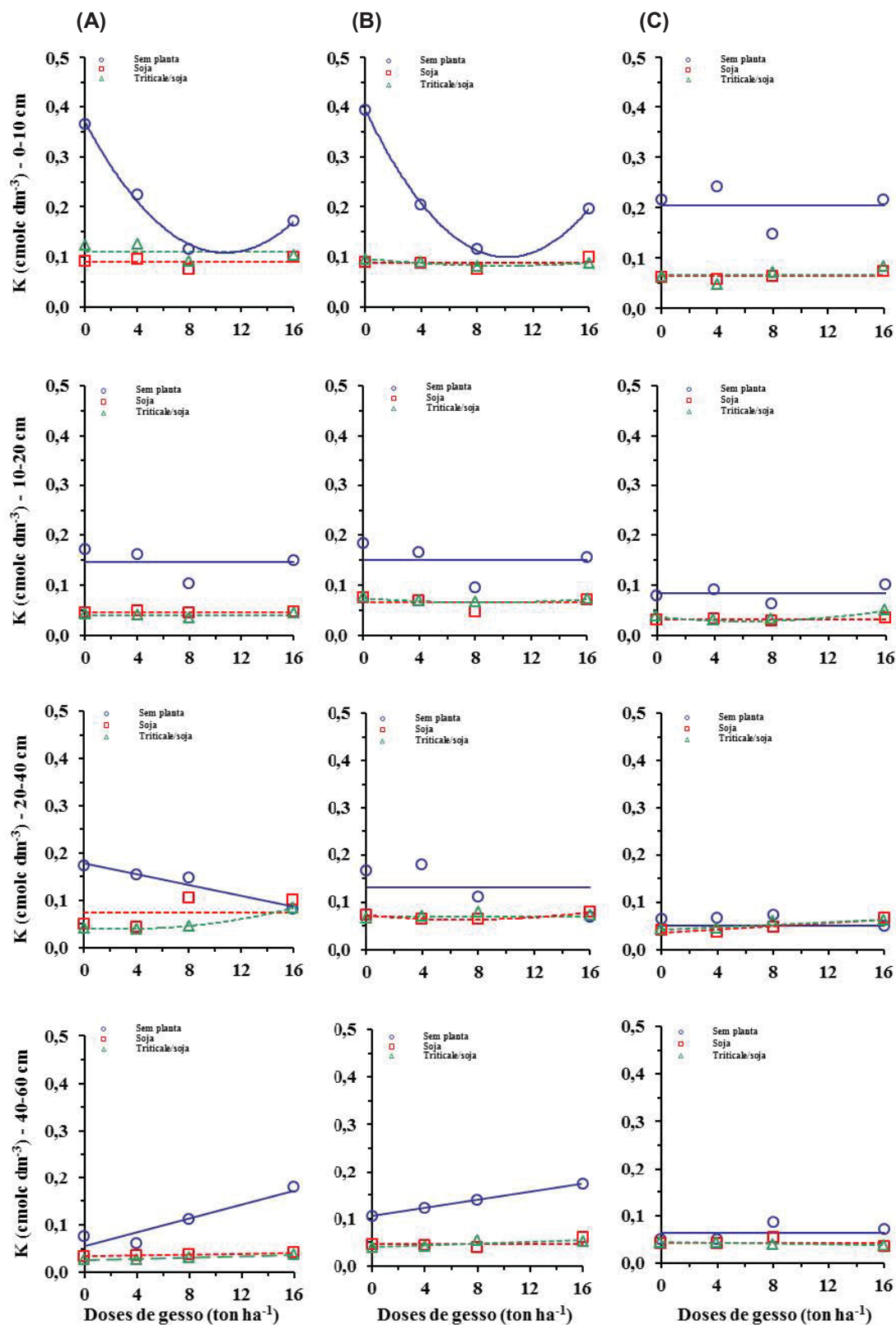
Este resultado evidencia o poder do gesso agrícola, na movimentação de  $K^+$  no perfil, dependendo do solo onde o mesmo é aplicado; pode-se observar que o teor de MO e CTC pH7 dos solos avaliados segue a mesma tendência crescente Neossolo > Latossolo > Cambissolo, mostrando assim que o principal fator a ser considerado como determinante na movimentação deste cátion no perfil é a textura do mesmo, corroborando com autores como Sousa e Ritchey (1986); Sumner (1995) e Jalali e Rowell, (2003) que mencionam que a lixiviação de  $K^+$  em solos, ocorre com maior frequência naqueles com textura mais arenosa.

O efeito das plantas nos teores de  $K^+$  também é evidenciado na camada de 0-10 cm, que apresenta teores mais baixos deste nutriente em relação ao observado no tratamento sem cultivo. Esta diminuição nos teores de  $K^+$  na camada superficial aparentemente está ligada à absorção deste nutriente pelas raízes. Nos tratamentos com cultivo de soja e triticale seguido de soja, não se observou ajuste de nenhum modelo de regressão para os três tipos de solo.

Vários autores concluem que a perda de  $K^+$  das camadas superficiais em função da aplicação de gesso é baixa ou inexistente (ERNANI et al., 2001; SOUZA et al., 2012; RAMOS et al., 2013; PAULETTI et al. 2014). Contudo, todos os experimentos foram realizados utilizando-se alguma espécie vegetal. Quaggio et al. (1993), estudando doses crescentes de gesso aplicadas na cultura da soja, em um Latossolo Vermelho, não observaram lixiviação de  $K^+$  mesmo com a aplicação de 6 t  $\text{ha}^{-1}$ .

Na profundidade 20-40 cm, o efeito dos cultivos em função das doses foi distinto. No Latossolo, é possível observar novamente uma diminuição nos teores de  $K^+$  a medida em que se aumenta as doses de gesso na ausência de planta, com tendência linear decrescente. No cultivo de triticale sucedido por soja, verificou-se ajuste quadrático; e com o cultivo somente da soja não se ajustou nenhum modelo.

FIGURA 20 - VARIAÇÃO DO K TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).



FONTE: O autor (2019).

No Neossolo, ocorreu ajuste quadrático apenas com o cultivo da soja; e no Cambissolo, em condições de presença de planta, ocorreu ajuste do modelo linear, com aumento no teor de  $K^+$  em função das maiores doses de gesso.

Na última camada avaliada (40-60 cm), nota-se um acúmulo de  $K^+$  nas colunas sem planta para o Latossolo e Neossolo, nutriente esse, proveniente da movimentação de  $K^+$  das camadas superficiais de ambos os solos. A movimentação deste elemento das camadas superficiais e posterior acúmulo nas camadas mais profundas dos solos ocorreram devido ao deslocamento do  $K^+$  das cargas negativas, pela substituição pelo  $Ca^{2+}$  ou pela ligação com o  $SO_4^{2-}$  (RITCHEY et al., 1980; ERNANI et al., 1993; NEIS et al., 2010; RAMPIM et al., 2011). Caires et al. (2001; 2002) observaram acréscimos nos teores de  $K^+$  nas camadas subsuperficiais (0,4-0,8 m), por conta da movimentação do  $K^+$  proveniente da superfície, em função da aplicação de gesso.

Neste experimento, foi possível verificar o incremento no teor de  $S-SO_4^{2-}$  em função das doses crescentes de gesso agrícola (Figura 21), em todas as camadas avaliadas (0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm), obtendo-se ajustes dos modelos linear ou quadrático para todos os tipos de cultivo avaliados (sem planta, soja e triticales/soja). O gesso possui em sua formulação cerca de 14 a 17% de enxofre, o que o torna uma fonte importante deste nutriente. A movimentação do enxofre vem sendo verificada em todo o perfil, mostrando que este íon se movimenta com facilidade no solo (RAIJ; QUAGGIO; 1984; RAIJ, 1988; ALCARDE, 1988; QUAGGIO et al. 1993; CAIRES et al., 1998; SOUSA et al., 2007; NEIS et al., 2010).

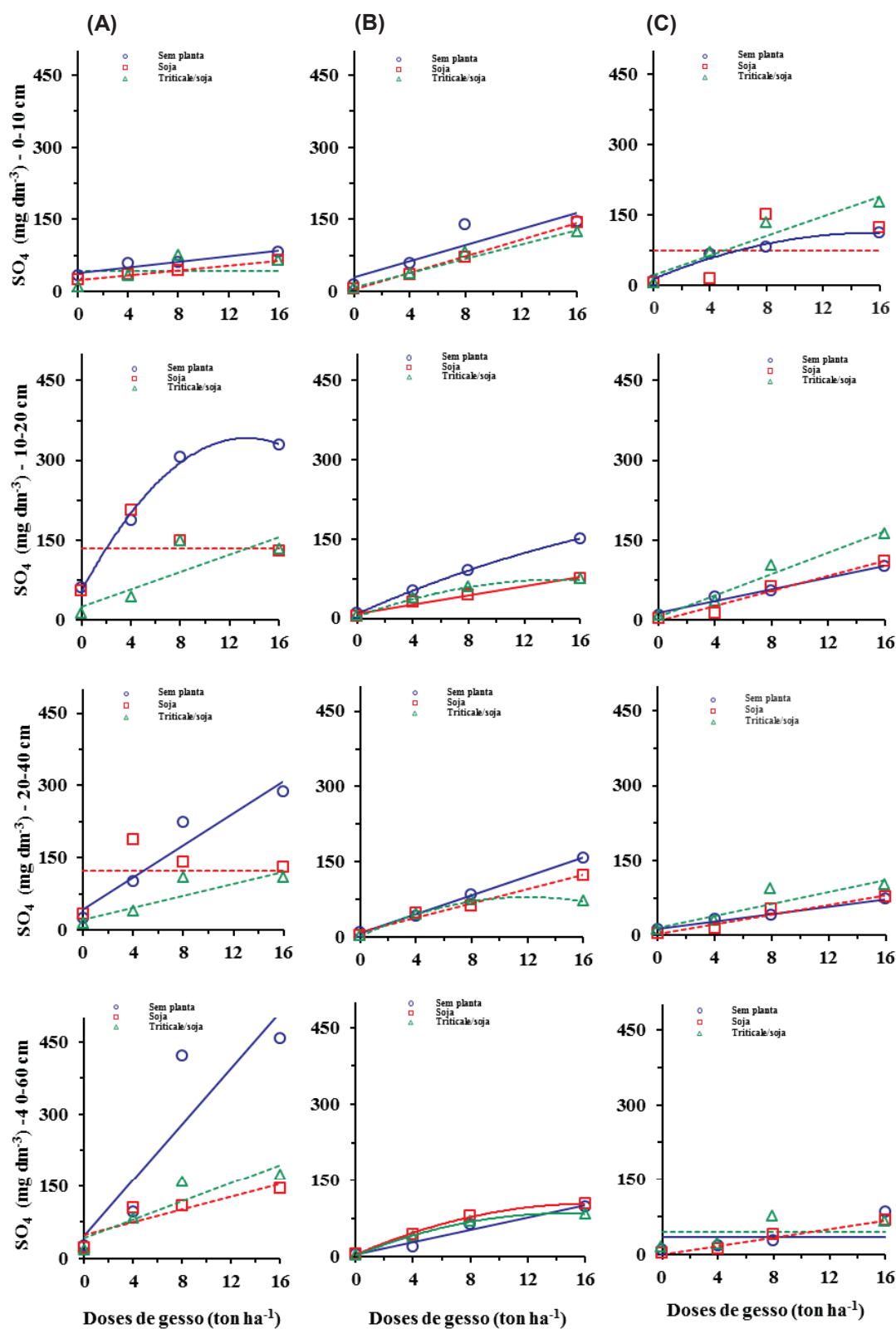
Caires et al. (1999) confirmaram que os teores de  $S-SO_4^{2-}$  foram incrementados em todo o perfil do solo com a aplicação de doses de gesso (4, 8 e 12 ton ha<sup>-1</sup>), sendo observado, maior concentração deste nutriente nas camadas 40-60 e 60-80 cm 36 meses após a aplicação, mostrando o efeito residual deste condicionador do solo. Ao contrário do observado por estes autores, no presente estudo, as maiores concentrações de  $S-SO_4^{2-}$ , foram encontradas nas camadas superiores (0-10, 10-20 e 20-40 cm), com diminuição no teor na camada mais profunda do solo (40-60 cm). Esta diminuição no teor de  $S-SO_4^{2-}$  na camada 40-60 cm pode estar relacionado à movimentação do mesmo para além da camada, na forma de par iônico ( $CaSO_4^0$  e  $MgSO_4^0$ ).

Pauletti et al. (2014), estudando o efeito a longo prazo do gesso agrícola também verificaram aumento no teor de sulfato no solo em todas as camadas

avaliadas aos 36 meses após a aplicação; porém na avaliação realizada aos 72 meses após a aplicação, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, os teores de enxofre foram menores aos verificados na avaliação anterior, mostrando a continua movimentação deste no solo.



FIGURA 21 - VARIAÇÃO DO  $\text{SO}_4^{2-}$  DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).



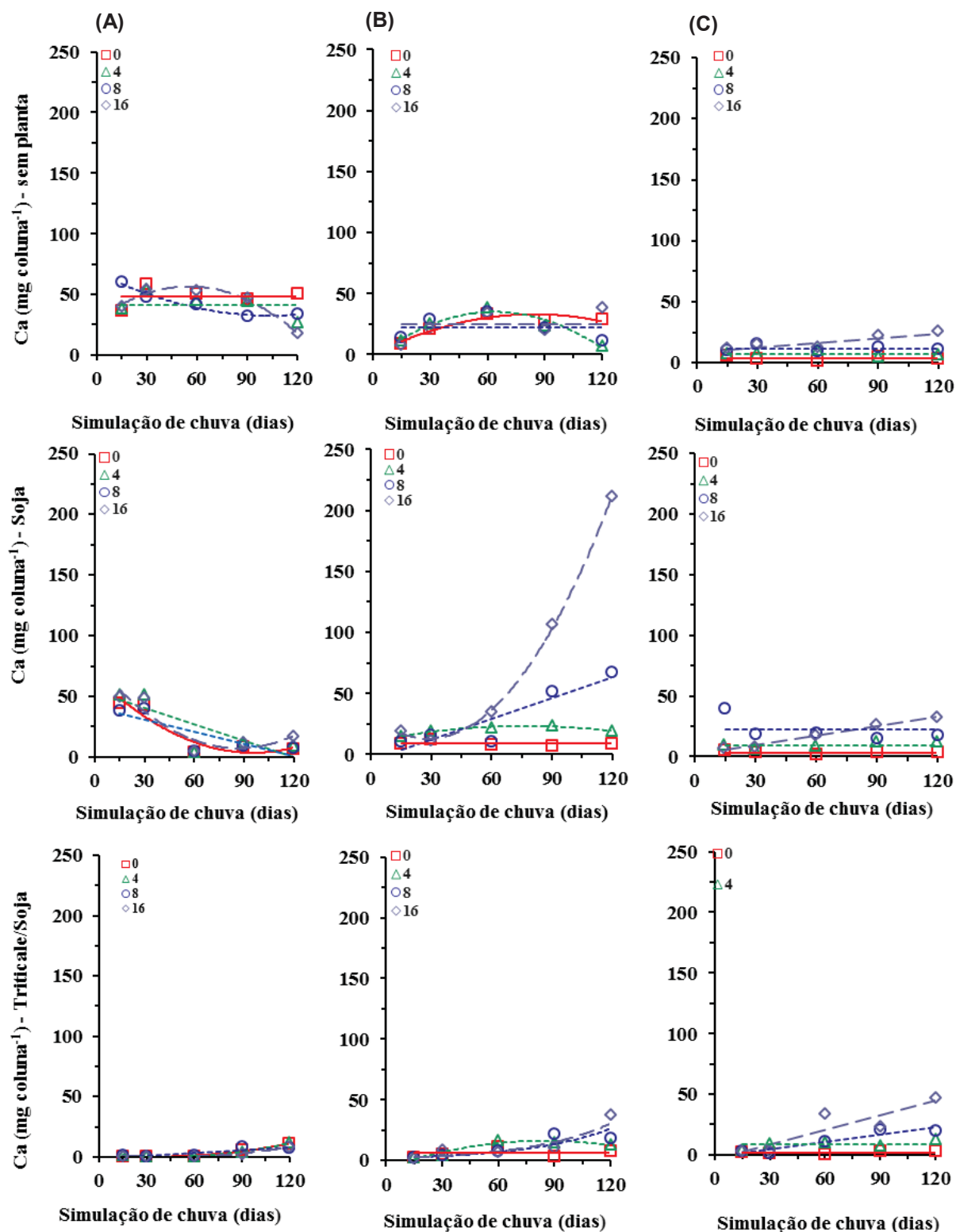
FONTE: O autor (2019).

#### 4.3.2. LIXIVIADO

O efeito do tempo de simulação de chuva sobre a concentração dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  e do ânion  $\text{SO}_4^{2-}$  nas diferentes doses de gesso, nos três solos avaliados (Latossolo, Neossolo e Cambissolo) estão descritos nas Figuras 22, 23, 24, 25 e 26. De modo geral, o solo que apresentou maior concentração de cátions no lixiviado foi o Neossolo, o que era esperado, devido à textura arenosa associado a maior presença de matéria orgânica que com o efeito da mineralização, disponibiliza nutrientes ao solo. Segundo Nóia et al. (2016), a movimentação de cátions está ligada a granulometria e constituição mineralógica, de maneira que solos com textura mais arenosa e com argilas de menor atividade tendem a lixiviar maiores quantias de nutrientes. Já o solo que apresentou maiores concentrações do ânion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) foi o Cambissolo, podendo estar relacionado à constituição mineralógica deste solo, com a presença de minerais de carga permanente do tipo 2:1 ou 1:1, aumentando a CTA deste solo.

No Latossolo, a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no lixiviado (Figura 22), variou em função do tipo de cultivo e das doses de gesso aplicada. Em condição de ausência de planta, para as doses 0 e 4  $\text{ton ha}^{-1}$  não se obteve ajuste a nenhum modelo estatístico, com médias de 48,24 e 41,53  $\text{mg coluna}^{-1}$ , respectivamente. Na dose de 8  $\text{ton ha}^{-1}$ , houve ajuste ao modelo quadrático, com diminuição na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no lixiviado com o passar do tempo. Para a dose 16  $\text{ton ha}^{-1}$  o efeito inverso foi verificado, com aumento da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  até os 57 dias seguido de decréscimo. Nas colunas com soja, as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  seguiram tendências semelhantes com ajuste quadrático para as doses 0 e 16  $\text{ton ha}^{-1}$  e linear para 4 e 8  $\text{ton ha}^{-1}$ , sendo observado, uma diminuição na concentração do nutriente, com o maior número de simulações de chuva realizada em todas as doses de gesso. Com o cultivo de triticle seguido de soja todas as doses foram ajustadas ao modelo quadrático, observando acréscimo na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  a partir das simulações de chuva realizadas aos 90 e 120 dias.

FIGURA 22 - EFEITO DE DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO - CA<sup>2+</sup> (MG COLUNA<sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA CHUVA SIMULADA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO).



FONTE: O autor (2019).

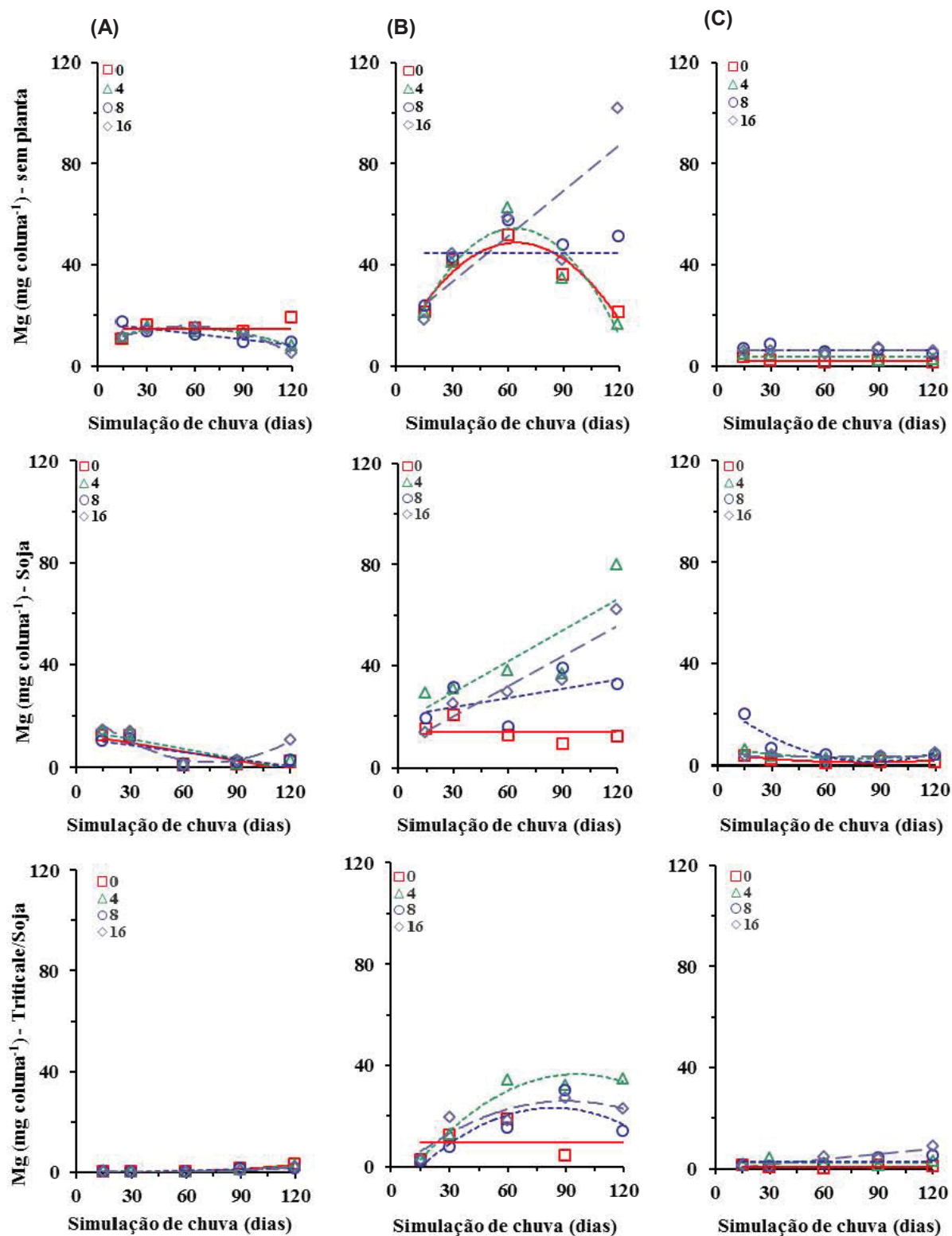
No Neossolo, para a coluna sem planta, apenas as doses 0 e 4 ton ha<sup>-1</sup> ajustaram-se significativamente ao modelo de tendência quadrática, com o ponto de inflexão máxima na concentração de Ca<sup>2+</sup> aos 83 e 63 dias para a dose de 0 e 4 ton ha<sup>-1</sup> respectivamente. As maiores concentrações de Ca<sup>2+</sup> no lixiviado foram verificadas nas colunas contendo soja, nas maiores doses de gesso (8 e 16 ton ha<sup>-1</sup>). A dose 8 ton ha<sup>-1</sup> resultou em ajuste linear crescente, com valor máximo de 66,88 mg coluna<sup>-1</sup>; por outro lado, na dose de 16 ton ha<sup>-1</sup>, com ajuste quadrático, obteve-se 211,11 mg coluna<sup>-1</sup> na última simulação de chuva aos 120 dias. As colunas contendo triticale/soja seguiram a mesma tendência verificada na soja, porém, com menor intensidade, atingindo concentrações de Ca<sup>2+</sup> de 17,86 e 37,78 mg coluna<sup>-1</sup> para as doses 8 e 16 ton<sup>-1</sup>, respectivamente.

No Cambissolo, a dose de 16 ton ha<sup>-1</sup> seguiu tendência linear crescente no teor de Ca<sup>2+</sup> no lixiviado em função das datas de simulação de chuva, para todas as coberturas (sem planta, soja e triticale/soja), enquanto nas demais doses não houve variação, com exceção da dose 8 ton ha<sup>-1</sup> na cobertura triticale/soja. Com estes dados, fica claro o efeito de doses elevadas de gesso agrícola na movimentação e subsequente lixiviação de Ca<sup>2+</sup> para o Neossolo e Cambissolo, não ocorrendo o mesmo para o Latossolo. A lixiviação de Ca<sup>2+</sup> pela adição de gesso agrícola também foi observado por Maria et al. (1993), que constatarem maiores quantidades de cálcio em todas as percolações realizadas no trabalho em colunas de lixiviação, quando aplicado o gesso agrícola.

A concentração de Mg<sup>2+</sup> no lixiviado (Figura 23) apresentou comportamento semelhante ao observado com Ca<sup>2+</sup>, diferindo apenas em relação ao efeito das doses de gesso agrícola, dependendo do solo e da cobertura.

Nas colunas contendo Latossolo sem cobertura de planta, verificou-se ajuste no modelo quadrático para as doses 4 e 16 ton ha<sup>-1</sup> com concentração máxima de Mg<sup>2+</sup> de 13,8 e 15,3 mg coluna<sup>-1</sup> aos 60 dias. A dose de 8 ton ha<sup>-1</sup> ajustou-se ao modelo linear, com menores concentrações de Mg<sup>2+</sup> com o passar do tempo. Este mesmo efeito foi verificado para as doses 0, 4 e 8 ton ha<sup>-1</sup> para as colunas do Latossolo contendo soja, variando apenas na dose 16 ton ha<sup>-1</sup> ajustado ao modelo quadrático com aumento da concentração aos 120 dias. Na cobertura triticale/soja as doses 0, 4 e 16 ton ha<sup>-1</sup> ajustaram-se ao modelo quadrático e a dose 8 ton ha<sup>-1</sup> ao modelo linear.

FIGURA 23 - EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO - MG<sup>2+</sup> (MG COLUNA<sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO GESSO EM SUPERFÍCIE).



FONTE: O autor (2019).

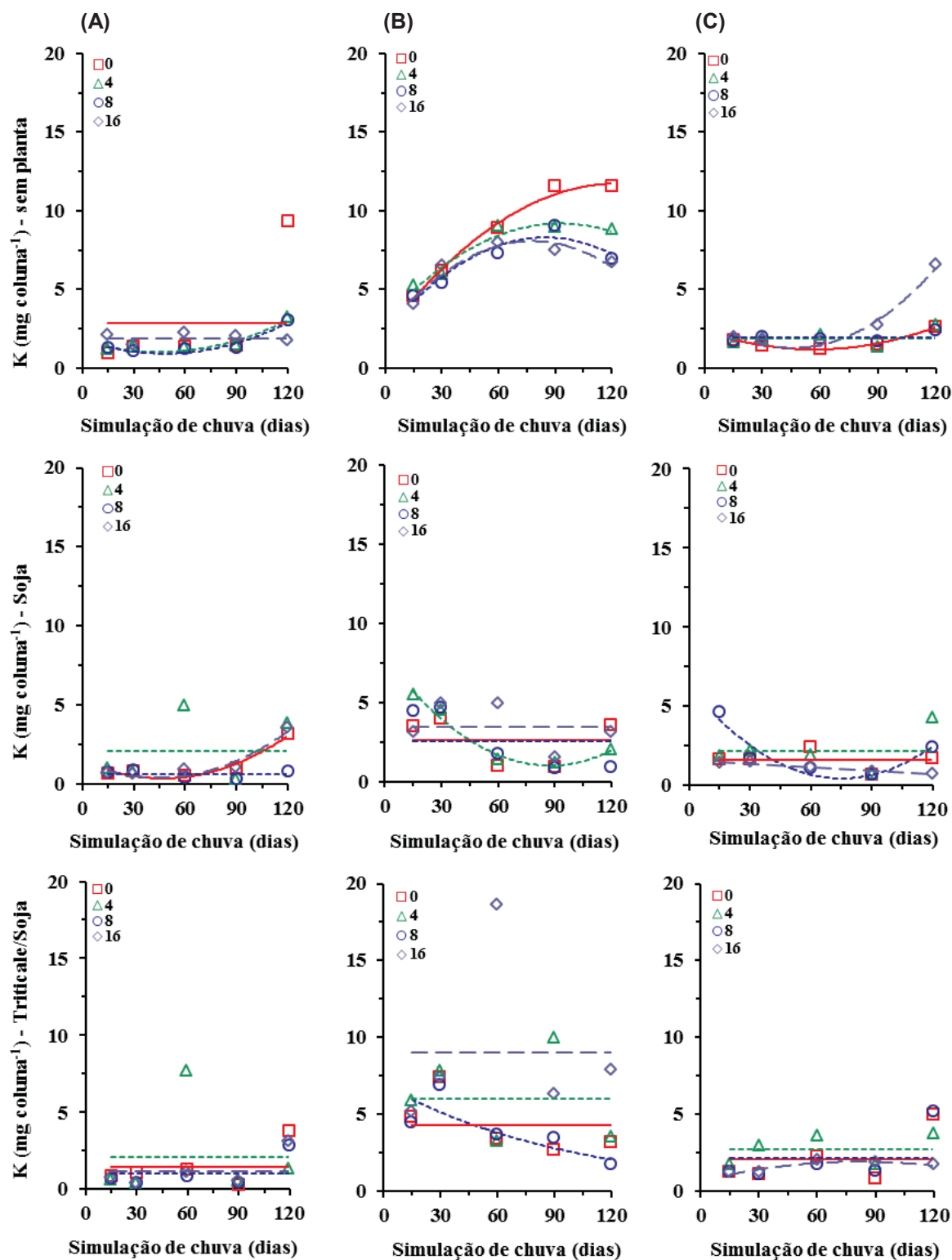
O Neossolo proporcionou as maiores concentrações de  $Mg^{2+}$  em função das doses de gesso. Nas colunas sem plantas, as doses 0 e 4 ton  $ha^{-1}$  resultaram em lixiviação de maiores quantias de  $Mg^{2+}$  aos 60 dias, com valores de 51,56 e 62,53 mg  $coluna^{-1}$ , respectivamente; por outro lado, a aplicação de 16 ton  $ha^{-1}$  de gesso resultou em concentração máxima de 101,9 mg  $coluna^{-1}$  aos 120 dias.. Nas colunas contendo soja, o modelo que melhor se ajustou às doses de gesso foi o linear, com os maiores valores aos 120 dias, diferindo das colunas contendo triticales/soja, onde o modelo com melhor ajuste foi o quadrático com ponto máximo aos 90 dias.

No Cambissolo, nenhum modelo de tendência foi significativo, com médias de 2,24, 3,90, 6,47 e 6,15 mg  $coluna^{-1}$  para as doses 0, 4, 8 e 16 ton  $ha^{-1}$ , respectivamente. Com o cultivo da soja, a dose que se destacou foi a de 16 ton  $ha^{-1}$ , com ajuste quadrático, resultando em maiores concentrações de  $Mg^{2+}$  nas duas primeiras simulações de chuva (15 e 30 dias), com posterior estabilização. O efeito inverso desta mesma dose ocorreu na cobertura triticales/soja, com concentração constante nas primeiras simulações de chuva e acréscimo aos 90 e 120 dias.

Apesar do gesso agrícola não adicionar  $Mg^{2+}$  ao sistema, ele promove a distribuição do mesmo em camadas mais profundas do solo (Figura 27), podendo ocasionar a lixiviação do  $Mg^{2+}$  pela formação do par iônico ( $MgSO_4^0$ ) de alta afinidade. A ligação iônica com o  $SO_4^{2-}$  depende da valência e do raio hidratado do elemento ligante, seguindo a ordem:  $MgSO_4 < CaSO_4 < K_2SO_4$  (Ramos, 2012). Em trabalho realizado por Maria et al. (1993) em colunas de solo, avaliando a movimentação e lixiviação de cátions pela aplicação de fontes de cálcio, o gesso agrícola proporcionou acréscimo de 120 a 570 % na lixiviação de  $Mg^{2+}$  quando comparado a testemunha em dois solos estudados.

De forma geral, o aumento nas doses de gesso não proporcionou acréscimo nas concentrações de  $K^+$  no lixiviado do Latossolo e Neossolo (Figura 24), sendo restrito o efeito apenas para o teor deste elemento no solo (Figura 20). Contudo, pode-se verificar a influência da maior dose de gesso (16 ton  $ha^{-1}$ ) para o Cambissolo quando não houve cultivo ou com o cultivo de soja, ajustando-se o modelo quadrático, com tendência inversa.

FIGURA 24 - EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO - K<sup>+</sup> (MG COLUNA<sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO(B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE).



FONTE: O autor (2019).



Na ausência de planta a tendência foi constante até os 60 dias, com posterior acréscimo na concentração de  $K^+$ ; e com o cultivo de soja, as maiores concentrações foram verificadas na primeira e segunda simulação (15 e 30 dias), decréscimo aos (60 e 90 dias) e novamente acréscimo aos 120 dias.

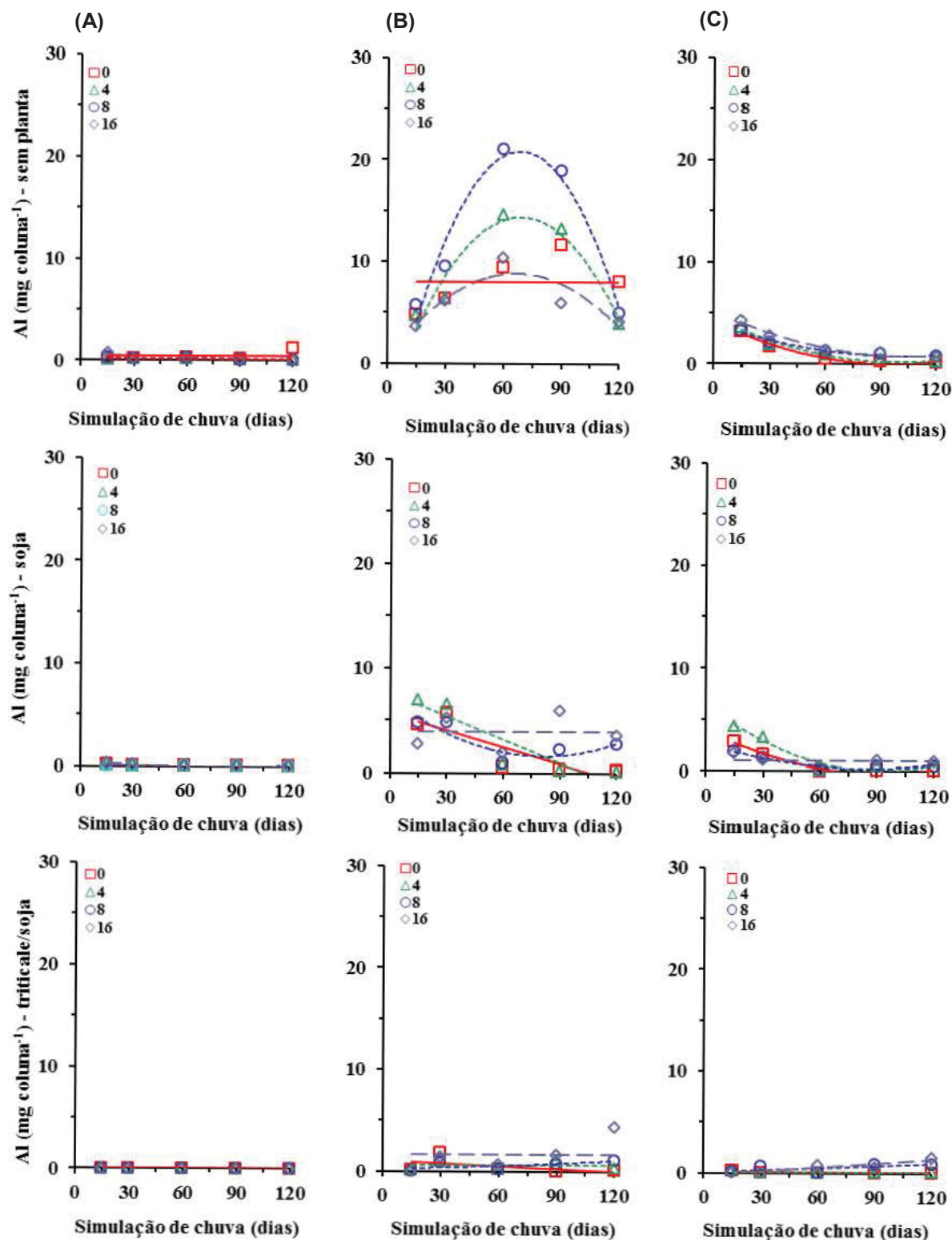
Os resultados obtidos neste trabalho, relativos às concentrações de cátions no lixiviado concordam com a série de afinidade de ligação de cátions com o ânion  $SO_4^{2-}$  descrita por Ramos (2012) seguindo a ordem:  $MgSO_4 < CaSO_4 < K_2SO_4$ . Deste modo, é possível levantar a hipótese que a movimentação do  $K^+$  no solo sofre maior influência pelo aumento no teor  $Ca^{2+}$  do que pela adição de sulfato ao sistema, explicando assim, o acúmulo deste nutriente na camada (40-60 cm) do Latossolo e Neossolo, e suas baixas concentrações no lixiviado.

As concentrações de  $Al^{3+}$  no lixiviado em função das doses de gesso e do tipo de cobertura estão apresentadas na Figura 25. O latossolo sofreu menor interferência das doses de gesso e dos tipos de cultivo entre os solos avaliados; este fato pode estar relacionado à sua textura argilosa. Segundo Primavesi (2004) solos com esta textura, possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água, podendo ajudar na diminuição de perda de cátions por lixiviação.

No Neossolo, as concentrações de  $Al^{3+}$  foram maiores nas colunas sem planta, com tendência quadrática para as doses de gesso 4, 8 e 16  $ton\ ha^{-1}$ , com aumento nas concentrações a partir do segundo dia de simulação de chuva e decréscimo aos 90 dias. Nas colunas contendo soja, observou-se ajuste ao modelo linear para as doses 0 e 4  $ton\ ha^{-1}$  e modelo quadrático na dose 8  $ton\ ha^{-1}$ ; enquanto para as colunas contendo triticales/soja, não foi observado nenhum ajuste de modelos de regressão.

Para o Cambissolo, obteve-se ajuste significativo no modelo quadrático para todas as doses de gesso, quando não houve cultivo de plantas ou com o cultivo de soja, com maior concentração de  $Al^{3+}$  na primeira simulação de chuva aos 15 dias, diminuição aos 30 dias e posterior estabilização nas demais datas avaliadas. E quando houve o cultivo das duas espécies (triticales/soja) o modelo com melhor ajuste, foi o linear para as doses 8 e 16  $ton\ ha^{-1}$  com aumento na concentração de  $Al^{3+}$  ao passar do tempo.

FIGURA 25 - EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO- AL<sup>3+</sup> (MG COLUNA<sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO GESSO EM SUPERFÍCIE).



FONTE: O autor (2019).

Segundo Maria et al. (1993) as reações do  $\text{SO}_4^{2-}$  com o  $\text{Al}^{3+}$  promove a formação de complexos solúveis e insolúveis, ou a formação de hidróxidos de alumínio, acarretando a movimentação do  $\text{Al}^{3+}$  ao longo do perfil do solo ou diminuindo seu efeito tóxico às plantas.

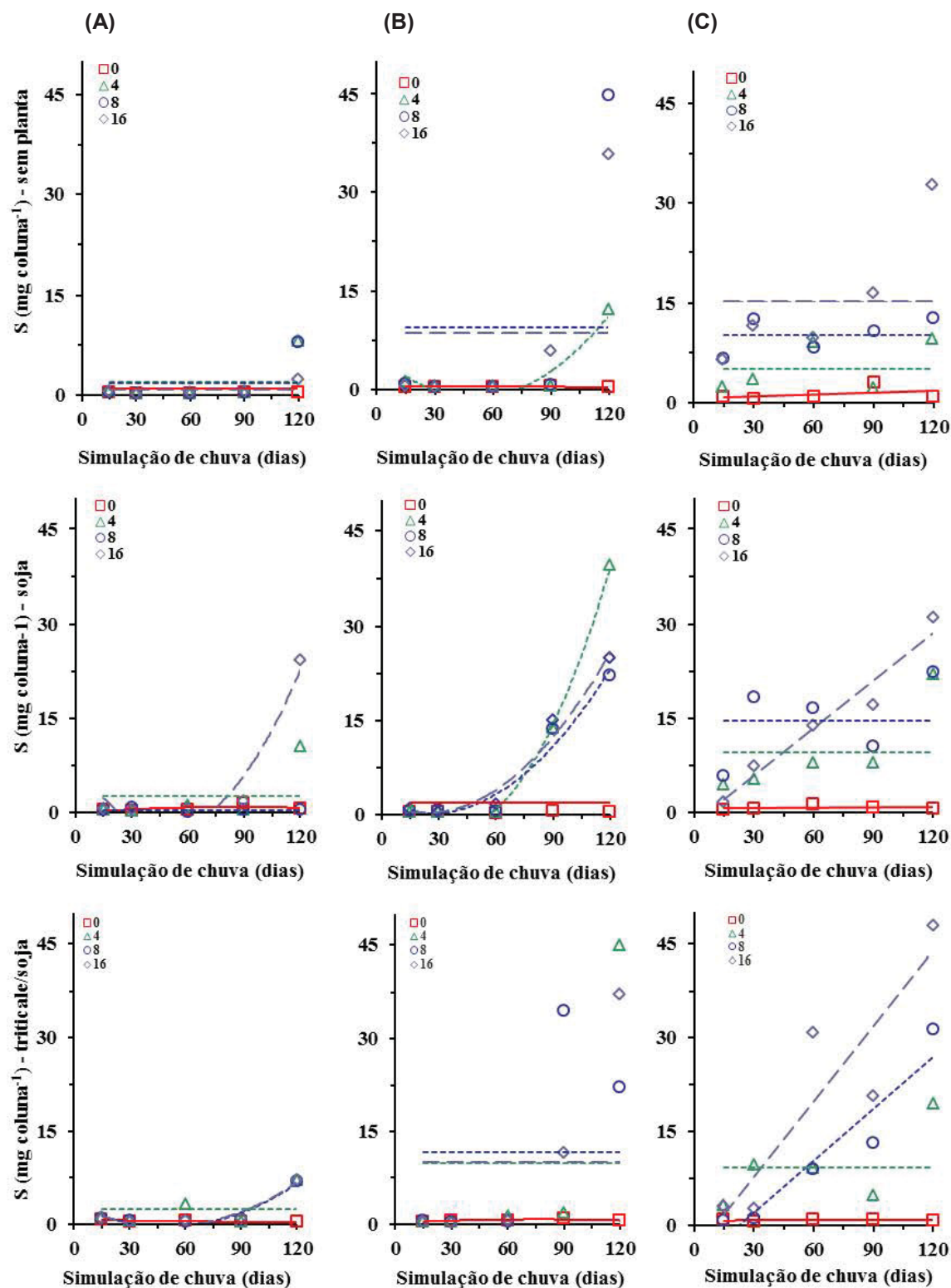
A aplicação de gesso promoveu a lixiviação do ânion  $\text{SO}_4^{2-}$ , independente do solo ou cultivo (Figura 26). Este aumento na concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  já era esperado, pelo gesso ser fonte de enxofre na forma de sulfato e o mesmo apresentar alta mobilidade no solo.

No Latossolo, os ajustes significativos do modelo quadrático foram obtidos para a dose  $16 \text{ ton ha}^{-1}$ , para o cultivo de soja e triticle seguido de soja, com aumento na concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  aos 90 e 120 dias.

Para o Neossolo, nas colunas sem planta, houve apenas ajuste quadrático na dose  $4 \text{ ton ha}^{-1}$  com aumento na concentração aos 90 e 120 dias; já as colunas com soja tiveram ajuste quadrático para todos os tratamentos contendo gesso, com aumento expressivo na concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  a partir de dia 60 dias. Para o cultivo triticle/soja, não foi observado ajuste de regressão.

No Cambissolo, nas colunas sem planta nenhum modelo foi ajustado; nas colunas com soja a dose  $16 \text{ ton ha}^{-1}$ , constatou-se aumento linear em função as datas de simulação de chuva; e no cultivo triticle/soja, as doses  $8$  e  $16 \text{ ton ha}^{-1}$  também se ajustaram ao modelo linear com aumento expressivo na concentração a partir da segunda simulação de chuva (30 dias).

FIGURA 26 -EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA<sup>-1</sup>) NA CONCENTRAÇÃO DE SULFATO – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (MG COLUNA<sup>-1</sup>) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE).



FONTE: O autor (2019).

#### 4.4. CONCLUSÕES

- A aplicação de doses elevadas de gesso agrícola promove a movimentação de bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$ ) nos solos estudados, dependendo da cobertura do solo;
- O gesso agrícola diminuiu os teores de  $\text{Al}^{3+}$  na camada 10 – 20 cm e proporcionou aumento de pH nas camadas 20-40 e 40-60 cm;
- A movimentação do  $\text{K}^{+}$  no solo sofre maior influência pelo aumento no teor  $\text{Ca}^{2+}$  do que pela adição de sulfato ao sistema;
- As diferentes doses de gesso e a textura dos solos interferem na lixiviação de nutrientes.

#### 4.5.REFERÊNCIAS

- ADAMS, F.; RAWAYFIH, Z. Basalumite and alumite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, p.686-692, 1977.
- ARAÚJO, L.G.; FIGUEIREDO, C.C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R.S.; REIN T.A. Influence of gypsum application on sugarcane yield and soil chemical properties in the brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p.1557-1563, 2016.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.275-286, 2003.
- CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.27-34, 1998.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, p. 213-223, 2001.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.315-327, 1999.
- CAIRES, E. F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.87-98, 2006.
- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v.59, p.357-364, 2002.
- CAMERON, R. S.; RITCHEY, G. S. P.; ROBSON, A. D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society American Journal**, v. 50, n.5, p.1231-1236, 1986.
- CARVALHO, L. C.; BUENO, R. C. O. F.; CARVALHO, M. M.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. Novas técnicas de arranjos de semeadura na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.1940-1954, 2013.
- CARVALHO, L. J. C. B.; GOMIDE, R. L.; RODRIGUES, G. C.; SOUZA, D. M. G.; FREITAS, E. Resposta do milho à aplicação de gesso e déficit hídrico em solo de cerrados. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1986. **Anais...Brasília**, EMBRAPA-DDT, 1986. p.61-83

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v.192, p.37-48, 1997.

CHANG, W. F.; MANTELL, M. I. **Engineering properties and construction applications of phosphogypsum**. Florida: Institute of Phosphate Research. Coral Gables, 1990. 201 p.

COSTA, C. H. M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

DALLA NORA, D.; AMADO, T. J. C. Improvement in chemical attributes of oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomy Journal**, v. 105, p. 1393-1403, 2013.

ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C.; MORIGUTI, H.; GARCIA, M. M.; VACARO, M. Aplicação de gesso agrícola e lixiviação de potássio em solos catarinenses. **Universidade & Desenvolvimento**, v. 1, p. 7-16, 1993.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. F. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, v.58, p.825-831, 2001.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration: ii. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p.175-180, 1988.

JALALI, M.; ROWELL, D. L. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. **Experimental Agriculture**, v. 39, p. 379-394, 2003.

LOYOLA JR., E.; PAVAN, M. A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.131-138, 1989.

MAHAN, B.M. **Química: um curso universitário**. São Paulo: Edgard Blücher, v. 6, 2003. 581p.

MORELLI, J. L.; NEILLE, E. J.; DEMATE, J. L. I.; DALBEM, R. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 5, n. 6, p. 24-31, 1987.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. **Usos do gesso agrícola**. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2005. 36 p. (boletim técnico, 122).

OATES, K. M.; CALDWELL, A. G. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.915-918, 1985.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v.38, p. 47-57, 1996.



PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxicity of aluminum to coffee seedling grown in nutrient solution. **Soil Science Society American Journal**, v. 46, n.5, p. 993-997, 1982.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p.33-38, 1984.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminium to coffee in ultisol and oxisols amended with  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4$ . **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.1201-1207, 1982.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 28p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Documentos, 37)

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.375- 383, 1993.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233 p.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. VAN.; QUAGGIO, J. A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In.: Espinoza, W.; Oliveira, A.J. de (Eds). Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira. **Anais...** Brasília: EMBRAPA – DEP, 1984. 641p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; FURLANI, P.R. Efeito, na reação do solo, da absorção de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e na ausência de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.131-136, 1988.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARAES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.

RAMOS, B. Z; **Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfato em latossolo sob altas doses de gesso**. 96 f. Tese (Doutorado em Recursos Ambientais e Uso da Terra) – Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p. 1687-1698, 2011.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochemophysica**, v.4, p. 1-6, 1972.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey b horizons of savannah oxisols. **Soil Science**, v.133, p. 378-382, 1982.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Calcium leaching to increase rooting depth in Brazilian savannah oxisol. **Agronomy Journal**, v.72, p.40-44, 1980.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R. Efeito da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.103-109, 1984.

SILVA, F.C. DA, EIRA, P.A. da; RAIJ, B.; VAN, SILVA, C. A.; ABREU, C. A. de; GIANELLO, C.; PÉREZ, D. V.; QUAGGIO, J. A.; TEDESCO, M. J.; ABREU, M. F. de; BARRETO, W. O. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.75-169.

SILVA, N. M. da; CARVALHO, L. H.; QUAGGIO, J.A. Ensaio de longa duração com calcário e cloreto de potássio na cultura do algodoeiro. **Bragantia**, v.54, n.2, p.353-360, 1995.

SILVA, N. M.; RAIJ, B. van; CARVALHO, L. H.; BATAGLIA, O. C. & KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, v. 56, n. 2, p.389-401, 1997.

SINGH, S.J. Effect of chloride and sulfate anions on the chemical characteristics of some acid soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 62, p.549- 557, 1982.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.675-688, 2008.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 20p. (Circular Técnica, 32).

SOUSA, D. M. G.; RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1986. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, DDT, 1986. p.119-144.

SOUSA, D.M. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 19p. (Embrapa Cerrados, circular técnica 32).

SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; ROSA, V. B. C. J.; ZEVIANI, W.M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina Ciências Agrárias**, v.33, p.1717-1732, 2012.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A. **Subsoil management techniques**. Athens: Lewis Publishers, 1995. p. 147-185.

SUMNER, M. E.; FEY, M.V.; FARINA, M. P. W. **Amelioration of acids subsoils with phosphogypsum.** In: International Symposium on Phosphogypsum. Proceedings. University of Miami, 1986. p.41-45.

SYED-OMAR, S.R.; SUMNER, M.E. Effect of gypsum on soil potassium and magnesium status and growth of alfafa. **Communications Soil Science Plant Analysis**, v.22, p.2017-2028, 1991.

ZAMBROSI, F. C. B; ALLENONI, L. R. F; CAIRES, E. F; Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural** [online], v.37, n.1, p. 110-117, 2007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782007000100018&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782007000100018&script=sci_abstract)

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p.128-137, 2015.

## 5. CONCLUSÃO GERAL

Com a realização dos experimentos da tese foi possível concluir que a correção da acidez na camada superficial do solo (0-5 cm) ocorre independentemente do tipo de corretivo aplicado e do tipo de solo. Porém, a granulometria do produto é essencial para que o mesmo se desloque para as camadas mais profundas do solo (até 30 cm). A aplicação superficial dos corretivos de solo não proporciona a lixiviação de nutrientes, sendo este efeito observado apenas para os tratamentos que continham gesso agrícola.

O gesso agrícola, quando aplicado de forma isolada e em grandes quantidades, proporciona movimentação de bases no perfil dos solos, sendo necessário cuidado na recomendação deste insumo para solos com textura arenosa, devido a lixiviação de nutrientes. A movimentação do  $K^+$  no perfil solo sofre maior influência pelo aumento no teor  $Ca^{2+}$  do que pela adição de sulfato ao sistema.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABREU JR.; C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian Soils. **Scientia Agricola**, v.60, p.337-343, 2003.
- ABREU, E.M.X.; BARROS, J.V.; FERREIRA, R.A.S.; YADAVA Y.P.; SILVA, C. L. de; SOUZA, D.P.F. de **Análise microestrutural do efeito de diferentes pós hemidratado no desempenho dos moldes de gesso**. João Pessoa: Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2003.
- ADAMS, F.; RAWAYFIH, Z. Basalumite and alumite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, p.686-692, 1977.
- ADELEKE, A. O.; AZIZ, A.; LATIFF.; DAUD, Z. Optimization of operating parameters of novel composite adsorbent for organic pollutants removal from POME using response surface methodology. **Chemospher**, v.174, p.232–242, 2017.
- ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES V. V. H. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2003. p.291-334.
- ALCARDE, J. C; Características de acidez dos corretivos do solo. In: ALCARDE, J. C; QUAGGIO, J. A; DALLMEYER, A. U; MIALHE, L. G; TOURINO, C; SANTOS, C. V. S; MATTOS, Z. P. B. **Simpósio sobre aplicação de calcário na agricultura**. Ipanema: Fundação Cargill, 1986. p. 1-20.
- ALCARDE, J. C; Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In ABRAHÃO, O; ALCARDE, J. A; AMARAL, C. M; AMARAL, V. B; BARROS, G. S. C; QUAGGIO, J. A; MALAVOLTA, E; MELLO, F. A. F; NEVOEIRO, D. F; ROCHA, M; VITTI, G. C. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: R. Vieira gráfica e editora LTDA, 1985. p. 97-117.
- ALLEONI, L. R. F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.27, n.4, p.729-737, 2005.
- ARAÚJO, L.G.; FIGUEIREDO, C.C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R.S.; REIN T.A. Influence of gypsum application on sugarcane yield and soil chemical properties in the brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p.1557-1563, 2016.
- AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N. & BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:191-198, 1996.
- BARROS, M. de F. C.; BEBE, F. V.; SANTOS, T. O.; CAMPOS, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, p. 77-82, 2009.

BARROS, M. DE F. C.; SANTOS, P. M. DOS; SILVA, A. J. Recuperação de solos afetados por sais usando água de qualidade inferior. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.310-313, 2005.

BARROS, M. DE F. C.; SANTOS, P. M.; MELO, R. M.; FERRAZ, F. B. Avaliação de níveis para correção da sodicidade de solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.1, p.17-21, 2006.

BARROS, M. F. C.; BEBÉ, F. V.; SANTOS, T. O.; CAMPOS, M. C. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 1, p. 77-82, 2009.

BELLINGIERI, P. A.; ALCARDE, J. C.; SOUZA, E. C. A. Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT. **An. ESALQ**, v.45, p.579-588, 1988.

BERRO, M. S.; CLEMENTE, L. F. M.; GARCIA, E. A. S.; MARONEZI, G. L.; CONTE, A. M. Lixiviação de macronutrientes catiônicos em solos tratado com calagem e gesso agrícola e o desenvolvimento da cultura do milho. In: V JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UENP, 2015, Bandeirantes. **Anais...** Bandeirantes: UENP, 2015.

BIAN M.; ZHOU M.; SUN D.; LI C. Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants. **The Crop Journal**, p. 91–104, 2013.

BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; LANTMANN, Á. F. **Considerações sobre o uso de gesso na agricultura**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1987. 5p. (Comunicado técnico, n. 40).

BORTOLUZZI, E. C.; PÉREZ, C. A. S.; ARDISSON, J. D.; TIECHER, T.; CARNER, L. Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. **Applied Clay Science**, v. 10, p.196-204, 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. -. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.87-98, 2006.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. R. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v.59, p.357-364, 2002.

CAMERON, R. S.; RITCHEY, G. S. P.; ROBSON, A. D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society American Journal**, v. 50, n.5, p.1231-1236, 1986.

CARVALHO FILHO, A.; INDA, A. V.; FINK, J. R.; CURI, N. Iron oxides in soils of different lithological origins in Ferriferous Quadrilateral (Minas Gerais, Brazil). *Applied Clay Science*, v.118, p.1-7, 2015.

CARVALHO, L. C.; BUENO, R. C. O. F.; CARVALHO, M. M.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. Novas técnicas de arranjos de semeadura na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.1940-1954, 2013.

CARVALHO, L. J. C. B.; GOMIDE, R. L.; RODRIGUES, G. C.; SOUZA, D. M. G.; FREITAS, E. Resposta do milho à aplicação de gesso e déficit hídrico em solo de cerrados. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1986. **Anais...Brasília**, EMBRAPA-DDT, 1986. p.61-83

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v.192, p.37-48, 1997.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 673–681, 2013.

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da Exigência em Calcário dos Solos do Estado de São Paulo, Mediante Correlação entre o pH e a Porcentagem da Saturação de Bases. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v, 30, p.49-60, 1955.

CFSES-COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Recomendações do uso de fertilizantes para o Estado do Espírito Santo**. 1ª aproximação. Vitória: DEMA-ES, 1977. 48p.

CFSG-COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás**. 5ª aproximação. Goiânia: UFG/EMGOPA, 1988. 101 p. (Informativo Técnico, 1)

CHANG, W. F.; MANTELL, M. I. **Engineering properties and construction applications of phosphogypsum**. Florida: Institute of Phosphate Research. Coral Gables, 1990. 201 p.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1055-1064, 2002



COLEMAN, N. T.; THOMAS, G. W. The Basic Chemistry of Soil Acidity. In: PEARSON, R. W.; ADAMS, F. **Soil Acidity and Liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 1-41.

COLLINGS, G. H. **Comercial fertilizants**: their sources and use. 5<sup>a</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1955.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil and Tillage Research**, v.97, p.207-217, 2007.

COSTA, C. H. M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARTIGIANI, A. C. C. A.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. F. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, v. 137, p.87-99, 2016.

DALLA NORA, D.; AMADO, T. J. C. Improvement in chemical attributes of oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomy Journal**, v. 105, p. 1393-1403, 2013.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 195-200, 2013.

EMBRAPA SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. Ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: Do autor, 2<sup>a</sup> ed., v.1, 2016. 256 p

ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C.; MORIGUTI, H.; GARCIA, M. M.; VACARO, M. Aplicação de gesso agrícola e lixiviação de potássio em solos catarinenses. **Universidade & Desenvolvimento**, v. 1, p. 7-16, 1993.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. F. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, v.58, p.825-831, 2001.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. Á.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.393-402, 2007.

EVANS, C. E.; KAMPRATH, E. J. Some response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. **Soil Science Society of America**, v.3, p.893-896, 1970.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; MORAES L. A. C.; MORAES, M. F. Influence of lime and gypsum on yield and yield components of soybean and changes in soil chemical properties. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 20, p. 271-283, 2014.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration: ii. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p.175-180, 1988.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; BAVARESCO, J.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil Tillage Research**, v.155, p.62-68, 2016.

FOY, C. D.; CHARNEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 29, p.511-566, 1976.

FOY, C. D.; FLEMMING, A. L. The physiology of plant tolerances to excess available Al and Mn in acids soils. In: JUNG, G. A. **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madson: American Society of Agronomy Special Publication, 1978. p.301- 328,

FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R. O.; ZIMMER, P. D.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Revista Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 72-79, 2006.

FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.73 -90.

FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Fertilization in native species reforestation. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p.347-378.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G. Superphosphate and rock phosphates as P-source for grass-clover pasture on a limed acid soil of Southern Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.42, n.17-18, p.1-12, 2007.

HOLZSCHUH, M. J. **Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

JALALI, M.; ROWELL, D. L. The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil. **Experimental Agriculture**, v. 39, p. 379-394, 2003.

JORGENSEN, D. B. Gypsum and anhydrite. In: CARR, D. D. **Industrial mineral sand rocks**. Colorado: SMME, 1994. p. 571-581.

KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBSCS-Núcleo Regional Sul, 2000. 123p. (SBSCS-Núcleo Regional Sul, Boletim Técnico, 4).

KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.34, p.252-254,1970.

KENNEDY, I. R. **Acid Soil and Acid Rain**. England: John Willey & Sons, 1986.

KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFERR, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. 343p.

KINJO, T. Conceitos de acidez de solos. In: RAIJ, B.van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. (Coord.) **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: SBCS, 1983. p.23-31

KOCHIAN, L. V.; PIÑEROS, M. A.; LIU, J.; MAGALHAES, J. V. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. **Annual Review of Plant Biolog**, v. 66, p.571–598, 2015.

KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; HERNANI, L. C.; SILVA, W. M. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcários Sul-Mato-Grossenses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p.1443-1449, 1999.

LIMOUSIN, G.; TESSIER, D. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p.167-174, 2007.

LOPES, A. S.; GUIMARÃES, P. G. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 4ª aproximação. Lavras: CFSEMG, 1989. 176p.

LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”, características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1983. 162p.

LOPES, A.S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. 3.ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1991. 15p. (ANDA. Boletim técnico, 1).

LOYOLA JR., E.; PAVAN, M. A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.131-138, 1989.

MAHAN, B.M. **Química: um curso universitário**. São Paulo: Edgard Blücher, v. 6, 2003. 581p.

MALAVOLTA, E; Reação do solo e crescimento das plantas. In: ABRAHÃO, I. O; ALCARDE, J. A; AMARAL, C. M; AMARAL, V. B; BARROS, G. S. C; QUAGGIO, J. A; MALAVOLTA, E; MELLO, F. A.F; NEVOEIRO, D. F; ROCHA, M; VITTI, G. C. **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: R. Vieira gráfica e editora LTDA, 1985. p. 3-57.

MARIA, I. C. de; ROSSETO, R.; AMBROSANO, E. J.; CASTRO, O. M. de. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia Agrícola**, v. 50, n.1, p. 87-98, 1993.

MARTINS, L. D; NOGUEIRA, N. O; TOMAZ, M. A; ANDRADE, F. V; BRINATE, S. V. B; REIS, E. F; Desenvolvimento inicial do café arábica em função de diferentes corretivos de acidez em um solo argiloso. In.: VI SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2009, Vitória. **Anais...** Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009. p. 1-5.

MARTINS, S. I.; CAZETTA, O. J.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 271-279, 2014.

MC BRIDE, M. B. Reactions controlling heavy metals in soils. **Advances in Soil Science**, v.10, p.1-56, 1989.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo. Viçosa: SBCS, 2009.

MERIÑO-GERGICHEVICH, C.; ALBERDI, M.; IVANOV, A. G.; REYES-DÍAZ, M.  $Al^{3+}$ - $Ca^{2+}$  interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendments. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, p. 217-243, 2010.

MESQUITA, L. F.; CARDOSO, J.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R. Escória de siderurgia e óxido de magnésio como corretivos da acidez em Latossolos. In.: XII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e VIII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2008, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: UNIVAP, 2008. p. 1-4.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; CARMONA, F. de C. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 149 -169.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; DA ROCHA, W. S. D.; MATINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, P. 11-30, 2010.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. de. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo Glei Pouco Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.209-215, 2000.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J.C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.45, p.251-256, 2002.

MORELLI, J. L.; NEILLE, E. J.; DEMATE, J. L. I.; DALBEM, R. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 5, n. 6, p. 24-31, 1987.

MOTTA, A. C. V.; LIMA, M. R. de. Princípios de calagem. In: LIMA, M. R. de; SIRTOLI, A. E.; MOTTA, A. C. V.; OLIVEIRA, A. C. de; SERRAT, B. M. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR/Setor Ciências Agrárias, 2006. p.191-222.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

NÓIA, N. R. C.; DAVALO, M. J.; RIBON, A. A.; WOSNIAK, H. N. Efeito de doses de gesso nas propriedades químicas do solo. **Acta Iguazu**, v. 3, p.10-21, 2014.

NOLLA, A.; KORNDORFER, G. H.; SILVA, T. R. B.; MUNIZ, A. S.; SILVA, M. A. G. Correção da acidez de um neossolo submetido à aplicação de carbonato e silicato de cálcio. **Journal of Agronomic Sciences**, v.2, n.1, p.113-120, 2013.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007, p.471-550.

NUERNBERG, N. J.; RECH, T. D.; BASSO, C. **Usos do gesso agrícola**. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2005. 36 p. (boletim técnico, 122).

OATES, K. M.; CALDWELL, A. G. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.915-918, 1985.

OLIVEIRA, E. L., PARRA, M.S., COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo vermelho escuro Álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.65-70, 1997.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, v.38, p.47-57, 1996.

OLMOS, I. L. J.; CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, v. 28, p.171-180, 1976. OSAKI, F. Calagem e adubação. Curitiba: [s.n], 1990. 503 p.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Curitiba: [s.n], 1990. 503 p.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2014.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxicity of aluminum to coffee seedling grown in nutrient solution. **Soil Science Society American Journal**, v. 46, n.5, p. 993-997, 1982.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p.33-38, 1984.

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 16, p.86-91, 1994

PLIETH, C. Calcium: just another regulator in the machinery of life? **Annals of Botany**, v. 96, n.1, p.1-8, 2005.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.675-684, 1998.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 28p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Documentos, 37)



PROCHNOW, L. I. **Avaliação e manejo da acidez do solo**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2014. 6p. (Informações Agronômicas, Nº 146).

QADIR, M.; QURESHI, R. H.; AHMAD, N. Reclamation of a salinesodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. **Geoderma**, v.74, p.207-217, 1996.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

QUAGGIO, J. A. Métodos de laboratório para calagem em solo. In: RAIJ, B. Van.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, N. M. Acidez e calagem no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., Campinas, 1983. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.33-48.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.375- 383, 1993.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233 p.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. VAN.; QUAGGIO, J. A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In.: Espinoza, W.; Oliveira, A.J. de (Eds). Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira. **Anais...** Brasília: EMBRAPA – DEP, 1984. 641p.

RAIJ, B. Van; CANTARELA, H.; ZULLO, M. A. T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 38, n. 7, p. 57-69, 1979.

RAMIREZ, H.; RODRIGUEZ, O.; SHAINBERG, I. Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate. **Soil Science**, v.164, p.351-357, 1999.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARAES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.

RAMOS, B. Z; **Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfato em latossolo sob altas doses de gesso**. 96 f. Tese (Doutorado em Recursos Ambientais e Uso da Terra) – Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. SARTORI. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p. 849-857, 2006.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p. 1687-1698, 2011.

RASOULI, F.; POUYA, A. K.; KARIMIAN, N. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. **Geoderma**, v.193-194, p.246-255, 2013.

RAVAZZI, P. A. Teste biológico para detectar barreira química em amostras de subsolos ácidos. 2009. 69f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico – IAC, Campinas.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochemophysica**, v.4, p. 1-6, 1972.

RENGEL, Z.; ZHANG, W. H. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminum-toxicity syndrome. **New Phytologist**, v. 159, p. 295-314, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; SANTANNA, M. A.; BRUNETTO, G.; DA SILVA, L. S. Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South Brazilian Campos. **Soil & Tillage Research**, v. 180, p. 222-231, 2018b.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, GUSTAVO. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018a.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.E. & GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:795-805, 2000.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, v. 133, p.378-382, 1982.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, v.72, 40-44, 1980.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R. Efeito da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.103-109, 1984.

RYAN, P. R.; DELHAIZE, E. The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency. **Functional Plant Biology**, v.37, p.275–284. 2010

SANTANA, G. S.; BIANCHI, P. P. M.; MORITA, I. M.; ISEPON, O. J.; FERNANDES, F. M. Produção e composição bromatológica da forragem do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.), submetidos a diferentes fontes e doses de corretivo de acidez. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 241-246, 2010.

SCHOONOVER, W. R. **Examination of soils for alkali**. Berkeley: University of California. Extension Service, 1952. Mimeographed.



SERRAT, B. M.; LIMA, M. R.; GARCIAS, C.E.; FANTIN, E. R.; CARNIERI, I. M. R. S. A.; PINTO, L. S. **Conhecendo o solo. Curitiba:** Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2002. 27p

SHAINBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A. & FEY, M. V. Use of gypsum on soils. **A Review Advance Soil Science**, v. 9, p.1-111, 1989.

SHOEMAKER, H. E.; McLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America**, v.25, p.274-277, 1961.

SILVA, E. B.; COSTA, H. A. O.; FARNEZI, M. M. M. Acidez potencial estimada pelo método do pH SMP em solos da região do Vale do Jequitinhonha no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.751-757, 2006.

SILVA, F.C. DA, EIRA, P.A da; RAIJ, B.; VAN, SILVA, C. A.; ABREU, C. A de; GIANELLO, C.; PÉREZ, D. V.; QUAGGIO, J. A.; TEDESCO, M. J.; ABREU, M. F de; BARRETO, W. O. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F.C da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.75-169.

SILVA, N. M. da; CARVALHO, L. H.; QUAGGIO, J.A. Ensaio de longa duração com calcário e cloreto de potássio na cultura do algodoeiro. **Bragantia**, v.54, n.2, p.353-360, 1995.

SILVA, N. M.; RAIJ, B van; CARVALHO, L. H.; BATAGLIA, O. C. & KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, v. 56, n. 2, p.389-401, 1997.

SILVEIRA, K. R.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; HECK, R. J.; SILVEIRA, R. R. Gypsum saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. **Scientia Agrícola**, v.65, p.69-76, 2008.

SINGH, S.J. Effect of chloride and sulfate anions on the chemical characteristics of some acid soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 62, p.549- 557, 1982.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.675-688, 2008.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 20p. (Circular Técnica, 32).

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. CANTARUTTI, R. B. NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. pg. 206-274.

SOUSA, D. M. G.; RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1986. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, DDT, 1986. p.119-144.

SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; ROSA, V. B. C. J.; ZEVIANI, W.M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina Ciências Agrárias**, v.33, p.1717-1732, 2012.

STIPP, S. R; CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. 7p. (Informações agronômicas, n. 129).

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A. **Subsoil management techniques**. Athens: Lewis Publishers, 1995. p. 147-185.

SUMNER, M. E.; FEY, M.V.; FARINA, M. P. W. **Amelioration of acids subsoils with phosphogypsum**. In: International Symposium on Phosphogypsum. Proceedings. University of Miami, 1986. p.41-45.

SYED-OMAR, S.R.; SUMNER, M.E. Effect of gypsum on soil potassium and magnesium status and growth of alfafa. **Communications Soil Science Plant Analysis**, v.22, p.2017-2028, 1991.

TAMAS, L.; SIMONOVICOVA, M.; HUTTOVA, J.; MISTRIK, L. Changes in the composition of cell wall proteins in barley roots during germination and growth in aluminium presence, **Plant, Soil and Environment**, v. 49, p. 327–331, 2003.

TECCHIO, M. A.; TERRA, M. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; PIRES, E. J. P.; MOURA, M. F. **Nutrição, calagem e adubação da videira**. Em: Silvana Catarina Sales Bueno. (Org.). Vinhedo paulista. 1ed.Campinas/SP.: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 2010. v. único, p. 131-153.

VELHO, J.; GOMES C.; ROMARIZ, C. **Minerais Industriais**. Universidade de Aveiro, 1998. 591p.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. J. M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**, v.49, n.1, p.123- 128, 1992.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H.de C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. de E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008.

WALLACE, S. U.; ANDERSON, I. C. Aluminum toxicity and DNA synthesis in wheat roots. **Agronomy Journal**, n. 76, p. 5–8, 1984.

WANG, J. K.; LIU, J. X.; LI, J. Y.; WU, Y. M.; YE, J. A. Histological and rumen degradation changes of rice straw stem epidermis as influenced by chemical pretreatment. **Animal Feed Science and Techonolog**, v. 136, p. 51-62, 2007.

WEIRICH NETO, P.H.; CAIRES, E.F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário.**Ciência Rural**, v.30, p.257-261, 2000.

WERLE, R; GARCIA, R. A; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2293-2305, 2008.

ZAMBROSI, F. C. B; ALLENONI, L. R. F; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, n.1, p. 110-117, 2007.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.2, p.128-137, 2015.

ZAPAROLLI, F. C. M. **As transformações pedológicas identificadas na topossequência sítio São José na bacia do córrego Aratu, Floraí – PR.** Dissertação. (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009. 155p.

## APÊNDICE

TABELA 15– RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA REFERENTE A PH (CACL<sub>2</sub>) E TEORES DE CA, MG, K, AL, P E SO<sub>4</sub> NAS QUATRO PROFUNDIDADES (0-10, 10-20, 20-40 E 40-60 CM) AVALIADAS.

camada (0-10 cm)							
Variavel	pH	Ca	Mg	K	Al	P	SO <sub>4</sub>
solo	**	*	ns	**	ns	**	**
cobertura	**	ns	ns	**	ns	**	**
dose	ns	*	**	**	ns	**	**
cobertura x solo	*	ns	*	ns	ns	**	**
dose x solo	*	ns	*	**	ns	*	**
dose x cobertura	*	ns	ns	**	ns	ns	**
dose x cobertura x solo	ns	ns	*	**	ns	ns	**
camada (10-20 cm)							
Variavel	pH	Ca	Mg	K	Al	P	SO <sub>4</sub>
solo	**	ns	ns	**	**	**	**
cobertura	**	ns	ns	**	**	ns	**
dose	ns	*	**	**	ns	ns	**
cobertura x solo	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
dose x solo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
dose x cobertura	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
dose x cobertura x solo				ns	*	ns	**
camada (20-40 cm)							
Variavel	pH	Ca	Mg	K	Al	P	SO <sub>4</sub>
solo	**	*	*	**	**	**	**
cobertura	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
dose	**	**	ns	ns	ns	ns	**
cobertura x solo	ns	ns	ns	*	ns	ns	**
dose x solo	*	*	**	ns	ns	**	**
dose x cobertura	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
dose x cobertura x solo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
camada (40-60 cm)							
Variavel	pH	Ca	Mg	K	Al	P	SO <sub>4</sub>
solo	**	ns	**	**	**	**	**
cobertura	*	ns	*	**	ns	ns	ns
dose	**	**	*	**	ns	*	*
cobertura x solo	*	*	ns	**	ns	ns	ns
dose x solo	ns	*	**	*	ns	*	ns
dose x cobertura	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
dose x cobertura x solo	ns	*	*	ns	*	ns	ns

\*\* = 1%, \* = 5% e ns = não significativo.

TABELA 16 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA REFERENTE AS CONCENTRAÇÕES DE (CA, MG, K, AL E SO<sub>4</sub>), NAS CINCO DATAS DE SIMULAÇÃO DE CHUVA REALIZADAS.

Dia 15 <sup>1</sup>					
Variável	SO <sub>4</sub>	Al	Ca	Mg	K
Dose	ns	ns	ns	ns	ns
Cobertura	ns	**	**	**	ns
solo	**	**	**	**	**
Dose x Cobertura	ns	ns	ns	ns	ns
Dose x Solo	ns	ns	ns	ns	ns
Solo x Cobertura	ns	**	**	*	ns
Dose x Cobertura x Solo	ns	ns	ns	ns	ns
Dia 30					
Variável	SO <sub>4</sub>	Al	Ca	Mg	K
Dose	ns	ns	ns	ns	ns
Cobertura	ns	**	**	**	*
solo	**	**	**	**	**
Dose x Cobertura	ns	ns	ns	ns	ns
Dose x Solo	*	ns	ns	ns	ns
Solo x Cobertura	ns	**	**	**	**
Dose x Cobertura x Solo	ns	ns	ns	ns	ns
Dia 60					
Variável	SO <sub>4</sub>	Al	Ca	Mg	K
Dose	**	ns	**	*	*
Cobertura	ns	**	**	**	*
solo	**	**	**	**	**
Dose x Cobertura	ns	*	ns	ns	*
Dose x Solo	**	ns	*	*	**
Solo x Cobertura	ns	**	**	**	**
Dose x Cobertura x Solo	*	*	*	ns	**
Dia 90					
Variável	SO <sub>4</sub>	Al	Ca	Mg	K
Dose	*	ns	**	ns	ns
Cobertura	ns	**	**	**	**
solo	**	**	**	**	**
Dose x Cobertura	ns	*	**	ns	ns
Dose x Solo	ns	ns	**	ns	ns
Solo x Cobertura	ns	**	**	**	**
Dose x Cobertura x Solo	ns	**	**	ns	ns
Dia 120					
Variável	SO <sub>4</sub>	Al	Ca	Mg	K
Dose	ns	*	**	*	*
Cobertura	ns	**	**	**	**
solo	*	**	**	**	*
Dose x Cobertura	ns	*	**	**	ns
Dose x Solo	*	ns	**	**	ns
Solo x Cobertura	ns	**	**	**	*
Dose x Cobertura x Solo	ns	ns	**	**	*

<sup>1</sup> períodos de simulação de chuva.

\*\* = 1%, \* = 5% e ns = não significativo.

TABELA 17- EQUAÇÕES DOS AJUSTES DE REGRESSÃO PARA AS CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO, ALUMÍNIO E ENXOFRE NO LATOSSOLO VERMELHO E NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.

Latossolo			Neossolo		
Cálcio	Equação	R <sup>2</sup>	Cálcio	Equação	R <sup>2</sup>
Test	$y = 0,184 + 0,0341 \cdot x$	R <sup>2</sup> = 0,929	Test	$y = 2,923$	
CCG	$y = 0,0527 - 0,0399 \cdot x$	R <sup>2</sup> = 0,912	CCG	$y = 2,994$	
Ges	$y = 0,7524 + 0,0052 \cdot x - 0,0005 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,946	Ges	$y = 3,0002 + 0,0921 \cdot x$	R <sup>2</sup> = 0,686
CCF	$y = 0,5882 + 0,0031 \cdot x + 0,0003 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,973	CCF	$y = 2,948$	
Cca	$y = 0,5273 + 0,0129 \cdot x + 0,0003 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,949	Cca	$y = 3,139$	
Fill	$y = 0,9443 + 0,0168 \cdot x - 0,0004 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,967	Fill	$y = 2,749$	
Calc	$y = 0,5443 + 0,0104 \cdot x + 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,937	Calc	$y = 2,489$	
GCCa	$y = 0,5809 + 0,0178 \cdot x + 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,937	GCCa	$y = 3,747$	
Magnésio	Equação	R <sup>2</sup>	Magnésio	Equação	R <sup>2</sup>
Test	$y = 0,2608 + 0,0249 \cdot x + 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,964	Test	$y = 4,270$	
CCG	$y = 0,4275 + 0,0088 \cdot x + 0,0003 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,988	CCG	$y = 4,721$	
Ges	$y = 0,3254 + 0,0102 \cdot x + 0,0005 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,940	Ges	$y = 0,2892 + 0,7334 \cdot x + 0,004 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,642
CCF	$y = 0,2135 + 0,0218 \cdot x + 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,966	CCF	$y = 4,583$	
Cca	$y = 0,0904 + 0,0349 \cdot x + 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,937	Cca	$y = 3,761$	
Fill	$y = 0,6802 + 0,007 \cdot x - 0,0004 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,972	Fill	$y = 4,209$	
Calc	$y = 0,231 + 0,0233 \cdot x + 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,927	Calc	$y = 4,010$	
GCCa	$y = 0,0806 + 0,0424 \cdot x + 0,00004 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,936	GCCa	$y = 7,9948 + 0,1131 \cdot x + 0,0016 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,853
Potássio	Equação	R <sup>2</sup>	Potássio	Equação	R <sup>2</sup>
Test	$y = 0,165$		Test	$y = 2,18$	
CCG	$y = 0,155$		CCG	$y = 4,1974 + 0,0504 \cdot x - 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,977
Ges	$y = 0,216$		Ges	$y = 3,76 + 0,0407 \cdot x - 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,687
CCF	$y = 0,195$		CCF	$y = 3,8077 + 0,04 \cdot x - 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,975
Cca	$y = 0,225$		Cca	$y = 4,3196 + 0,0774 \cdot x - 0,0005 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,966
Fill	$y = 0,188$		Fill	$y = 3,8637 + 0,0515 \cdot x - 0,0003 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,774
Calc	$y = 0,156$		Calc	$y = 3,9381 + 0,0485 \cdot x - 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,852
GCCa	$y = 0,209$		GCCa	$y = 4,3344 + 0,0527 \cdot x - 0,0002 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,923
Alumínio	Equação	R <sup>2</sup>	Alumínio	Equação	R <sup>2</sup>
Test	$y = 0,0302 - 0,0009 \cdot x + 0,000007 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,939	Test	$y = 1,853$	
CCG	$y = 0,0197 + 0,0038 \cdot x - 0,0001 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,986	CCG	$y = 2,475$	
Ges	$y = 0,008 + 0,0043 \cdot x - 0,0001 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,956	Ges	$y = 2,991$	
CCF	$y = 0,0116 + 0,0029 \cdot x - 0,0001 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,987	CCF	$y = 2,029$	
Cca	$y = 0,0896 - 0,0052 \cdot x + 0,000004 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,876	Cca	$y = 1,863$	
Fill	$y = 0,0498 + 0,0049 \cdot x - 0,0001 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,993	Fill	$y = 2,261$	
Calc	$y = 0,0173 - 0,0173 \cdot x - 0,000008 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,928	Calc	$y = 1,641$	
GCCa	$y = 0,0603 - 0,003 \cdot x + 0,000007 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,937	GCCa	$y = 2,251$	
Sulfato	Equação	R <sup>2</sup>	Sulfato	Equação	R <sup>2</sup>
Test	$y = 0,041$		Test	$y = 0,111$	
CCG	$y = 0,051$		CCG	$y = 0,133$	
Ges	$y = 0,051$		Ges	$y = 28,918 - 2,6623 \cdot x + 0,0163 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,747
CCF	$y = 0,048$		CCF	$y = 0,109$	
Cca	$y = 0,058$		Cca	$y = 0,128$	
Fill	$y = 0,044$		Fill	$y = 0,116$	
Calc	$y = 0,046$		Calc	$y = 0,101$	
GCCa	$y = 0,063$		GCCa	$y = 1,6486 + 0,1561 \cdot x - 0,0025 \cdot x^2$	R <sup>2</sup> = 0,991

FONTE: O autor (2019).

TABELA 18- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DA VARIAÇÃO DO PH DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA, EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).

Prof. / trat.	pH					
	Latossolo		Neossolo		Cambissolo	
0-10 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 5,39125		y = 5,452 + 0,0086*x	0,862	y = 5,848	
Soja	y = 5,1853 + 0,0153*x	0,964	y = 5,2275		y = 5,3681 + 0,0584*x + 0,0029*x <sup>2</sup>	0,965
Triticale/soja	y = 5,504 + 0,0255°x	0,624	y = 5,2992 + 0,0524*x - 0,003*x <sup>2</sup>		y = 5,28 + 0,0152*x	0,837
10-20 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 4,1813 + 0,0126°x	0,724	y = -3,9271 + 0,009**x + 0,0001**x <sup>2</sup>	0,984	y = 4,194	
Soja	y = 4,136 + 0,0109*x	0,938	y = 4,055		y = 4,287	
Triticale/soja	y = 4,2696		y = 4,191		y = 4,313	
20-40 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 4,1009 + 0,0536°x + 0,0023°x <sup>2</sup>	0,981	y = 3,824 + 0,0075*x	0,863	y = 3,926	
Soja	y = 4,1327 + 0,0392*x + 0,0015*x <sup>2</sup>	0,997	y = 3,88		y = 3,946	
Triticale/soja	y = 4,2269 + 0,0206°x + 0,0009°x <sup>2</sup>	0,923	y = 3,8753 + 0,0066°x	0,774	y = 3,947	
40-60 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 4,2613 + 0,0084°x	0,806	y = 3,8292 + 0,0219°x + 0,0008°x <sup>2</sup>	0,97	y = 3,842	
Soja	y = 4,3647 + 0,0143*x	0,999	y = 3,923		y = -3,7925 + 0,0223*x + 0,0011*x <sup>2</sup>	0,987
Triticale/soja	y = 4,391		y = 3,8643 + 0,018°x + 0,0006°x <sup>2</sup>	0,884	y = 3,8642	

\*\* = 1%, \* = 5% e ° = 10%

FONTE: O autor (2019).



TABELA 19- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO AL TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDO DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).

ALUMÍNIO						
Prof. / trat.	Latossolo		Neossolo		Cambissolo	
0-10 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,15		y = 0,08		y = 0,0505 + 0,0041*x + 0,0003*x <sup>2</sup>	0,993
Soja	y = 0,0727 + 0,0028*x	0,966	y = 0,11 + 0,0042*x - 0,0002*x <sup>2</sup>	1	y = 0,07	
Triticale/soja	y = 0,09		y = 0,10		y = 0,0814 + 0,0086*x + 0,0006*x <sup>2</sup>	0,982
10-20 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 1,1544 + 0,0695*x - 0,0036*x <sup>2</sup>	0,913	y = 2,09		y = 1,6666 + 0,1609*x - 0,0087*x <sup>2</sup>	0,954
Soja	y = 1,08		y = 1,77		y = 0,98	
Triticale/soja	y = 0,83		y = 1,65		y = 0,77	
20-40 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 1,04		y = 2,47		y = 2,27	
Soja	y = 0,92		y = 2,42		y = 2,432 + 0,0199*x	0,747
Triticale/soja	y = 0,72		y = 2,65		y = 2,27	
40-60 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,75		y = 2,50		y = 2,35	
Soja	y = 0,55		y = 2,44		y = 2,34	
Triticale/soja	y = 0,39		y = 2,58		y = 2,1946 + 0,0562*x + 0,0036*x <sup>2</sup>	0,999

\*\* = 1%, \* = 5% e <sup>0</sup> = 10%

FONTE: O autor (2019).

TABELA 20- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO CA TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMCISSELO HÁPLICO (C).

Prof. / trat.	CÁLCIO					
	Latossolo		Neossolo		Cambissolo	
0-10 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 1,1443 + 0,069*x	0,89	y = 1,13		y = 0,91	
Soja	y = 2,04		y = 1,27		y = 1,55	
Triticale/soja	y = 1,56		y = 1,29		y = 1,21	
10-20 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,2177 + 0,0599°x	0,764	y = 0,67		y = 0,4658 + 0,0268*x	0,973
Soja	y = 0,9027 + 0,1069*x - 0,0046*x <sup>2</sup>	0,999	y = 0,445 + 0,0088°x	0,761	y = 0,75	
Triticale/soja	y = 0,455 + 0,0219°x	0,667	y = 0,67		y = 0,2203 + 0,0196*x - 0,003*x <sup>2</sup>	0,999
20-40 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,2171 + 0,0116**x + 0,0043**x <sup>2</sup>	1	y = 0,4825 + 0,0297*x	0,889	y = 3,43	
Soja	y = 0,3488 + 0,0894°x	0,903	y = 0,7874 + 0,1398**x - 0,01**x <sup>2</sup>	0,999	y = 0,47	
Triticale/soja	y = 0,9735 + 0,1668*x - 0,013*x <sup>2</sup>	0,983	y = 0,9109 + 0,0687*x - 0,0035*x <sup>2</sup>	0,998	y = 0,1783 + 0,0355*x	0,94
40-60 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,830 + 0,3592*x	0,99	y = 1,1616 + 0,2643*x	0,972	y = 2,1749 + 0,1805*x	0,996
Soja	y = 0,9021 + 0,1476*x + 0,0065*x <sup>2</sup>	0,996	y = 0,5509 + 0,1402*x + 0,0198*x <sup>2</sup>	0,994	y = 2,2968 + 0,1552*x - 0,0261*x <sup>2</sup>	0,991
Triticale/soja	y = 1,3768 + 0,1353°x - 0,0338°x <sup>2</sup>	0,994	y = 0,6117 + 0,3826*x	0,892	y = 1,4907 + 0,1219°x	0,918

\*\* = 1%, \* = 5% e ° = 10%

FONTE: O autor (2019).

TABELA 21- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO MG TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA, EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).

Prof. / trat.	MAGNÉSIO					
	Latossolo			Neossolo		
0-10 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	$y = 6,6235 + 0,8294 \cdot x - 0,0301 \cdot x^2$	1	$y = 4,8192 + 0,2582 \cdot x$	0,928	$y = 4,9897 + 0,3477 \cdot x - 0,0105 \cdot x^2$	0,998
Soja	$y = 4,8584 + 0,6304 \cdot x - 0,0242 \cdot x^2$	0,997	$y = 7,7133 + 1,267 \cdot x - 0,0518 \cdot x^2$	0,995	$y = 3,40$	
Triticale/soja	$y = 7,4893 + 1,2707 \cdot x - 0,0556 \cdot x^2$	0,931	$y = 5,6379 + 0,3354 \cdot x$	0,686	$y = 3,1349 + 0,113 \cdot x$	0,789
10-20 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	$y = 1,40$		$y = 1,3816 + 0,0692 \cdot x - 0,0016 \cdot x^2$	0,997	$y = 1,4171 + 0,0337 \cdot x$	0,685
Soja	$y = 1,26$		$y = 1,7958 + 0,1666 \cdot x - 0,0051 \cdot x^2$	0,999	$y = 1,62$	
Triticale/soja	$y = 1,7701 + 0,0434 \cdot x$	0,987	$y = 2,3488 + 0,111 \cdot x$	0,903	$y = 1,6784 + 0,1323 \cdot x - 0,0047 \cdot x^2$	0,998
20-40 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	$y = 1,10$		$y = 0,62$		$y = 0,65$	
Soja	$y = 0,89$		$y = 0,55$		$y = 0,77$	
Triticale/soja	$y = 0,89$		$y = 0,6597 + 0,0108 \cdot x$	0,681	$y = 0,5168 + 0,0525 \cdot x - 0,0051 \cdot x^2$	0,993
40-60 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	$y = 0,7948 + 0,0955 \cdot x - 0,0096 \cdot x^2$	0,999	$y = 0,77$		$y = 0,70$	
Soja	$y = 0,5845 + 0,0454 \cdot x$	0,899	$y = 0,52$		$y = 0,34$	
Triticale/soja	$y = 0,905 + 0,1471 \cdot x - 0,011 \cdot x^2$	0,986	$y = 0,73$		$y = 0,48$	

\*\* = 1%, \* = 5% e <sup>0</sup> = 10%

FONTE: O autor (2019).

TABELA 22- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO K TROCÁVEL DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).

Prof. / trat.	POTÁSSIO					
	Latossolo			Neossolo		
0-10 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,369 + 0,0485*x - 0,0023*x <sup>2</sup>	0,991	y = 0,3926 + 0,0578*x - 0,0028*x <sup>2</sup>	0,999	y = 0,21	
Soja	y = 0,09		y = 0,09		y = 0,06	
Triticale/soja	y = 0,11		y = 0,0967 + 0,0029°x - 0,0001°x <sup>2</sup>	0,969	y = 0,07	
10-20 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,14		y = 0,13		y = 0,08	
Soja	y = 0,05		y = 0,06		y = 0,03	
Triticale/soja	y = 0,04		y = 0,0742 + 0,002*x - 0,0001*x <sup>2</sup>	0,993	y = 0,0367 + 0,0027°x - 0,0002°x <sup>2</sup>	0,992
20-40 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,1784 + 0,0057*x	0,946	y = 0,13		y = 0,06	
Soja	y = 0,04		y = 0,0728 + 0,0028*x - 0,0002*x <sup>2</sup>	0,975	y = 0,0362 + 0,0017*x	0,869
Triticale/soja	y = 0,0418 + 0,0016*x - 0,0003*x <sup>2</sup>	0,999	y = 0,07		y = 0,0413 + 0,0014*x	0,8465
40-60 cm	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Sem planta	y = 0,0565 + 0,0072°x	0,877	y = 0,105 + 0,0043**x	0,999	y = 0,06	
Soja	y = 0,0335 + 0,0005*x	0,961	y = 0,05		y = 0,04	
Triticale/soja	y = 0,0257 + 0,0007*x	0,921	y = 0,0409 + 0,0009°x	0,668	y = 0,0442 + 0,0004*x	0,888

\*\* = 1%, \* = 5% e ° = 10%

FONTE: O autor (2019).

TABELA 23- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO NA VARIAÇÃO DO SO42- DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO, E DE DIFERENTES CULTIVOS (SEM PLANTA, SOJA E TRITICALE SEGUIDA DE SOJA), EM QUATRO PROFUNDIDADES (0-10; 10-20; 20-40 E 40-60 CM) DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C).

Prof. / trat.	SULFATO					
	Latossolo		Neossolo		Cambissolo	
0-10 cm	Equação	R2	Equação	R2	Equação	R2
Sem planta	$y = 45,63 + 29,038^{\circ}x$	0,808	$y = 29,723 + 8,4353^{\circ}x$	0,808	$y = 14,535 + 12,52^{\circ}x + 0,3987^{\circ}x^2$	0,97
Soja	$y = 47,354 + 6,7015^{\circ}x$	0,795	$y = 3,6693 + 8,6495^{**}x$	0,998	$y = 74,75$	
Triticale/soja	$y = 40,901 + 9,5961^{\circ}x$	0,824	$y = 8,7507 + 7,4085^{\circ}x$	0,978	$y = 21,88 + 10,577^{\circ}x$	0,927
10-20 cm	Equação	R2	Equação	R2	Equação	R2
Sem planta	$y = 54,793 + 43,014^{\circ}x + 1,6102^{\circ}x^2$	0,992	$y = -9,1205 + 11,588^{\circ}x + 0,1687^{\circ}x^2$	1	$y = 14,171 + 5,4636^{\circ}x$	0,976
Soja	$y = 135,26$		$y = 8,624 + 4,3561^{\circ}x$	0,941	$y = 2,208 - 7,1508^{\circ}x$	0,964
Triticale/soja	$y = 26,135 + 8,0496^{\circ}x$	0,682	$y = 3,6616 + 9,5971^{\circ}x + 0,3297^{\circ}x^2$	0,999	$y = 5,6027 + 10,058^{\circ}x$	0,971
20-40 cm	Equação	R2	Equação	R2	Equação	R2
Sem planta	$y = 42,007 + 16,667^{\circ}x$	0,924	$y = 8,1687 + 9,3601^{**}x$	0,998	$y = 13,501 + 3,6839^{\circ}x$	0,99
Soja	$y = 122,81$		$y = 9,916 + 7,1313^{\circ}x$	0,978	$y = 3,11 + 4,8802^{\circ}x$	0,945
Triticale/soja	$y = 21,673 + 6,2593^{\circ}x$	0,759	$y = 2,0903 + 13,022^{\circ}x + 0,5438^{\circ}x^2$	0,999	$y = 15,421 + 5,9365^{\circ}x$	0,822
40-60 cm	Equação	R2	Equação	R2	Equação	R2
Sem planta	$y = 38,683 + 2,8613^{\circ}x$	0,916	$y = 3,70 - 0,061^{\circ}x$	0,966	$y = 33,78$	
Soja	$y = 24,239 + 2,549^{**}x$	0,996	$y = 4,0381 + 12,165^{\circ}x + 0,374^{\circ}x^2$	0,996	$y = 0,088 + 4,2247^{\circ}x$	0,968
Triticale/soja	$y = 43,42$		$y = 2,5301 + 11,335^{\circ}x + 0,3928^{\circ}x^2$	0,999	$y = 44,43$	

\*\* = 1%, \* = 5% e  $^{\circ} = 10\%$

FONTE: O autor (2019).

TABELA 24- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO D EFEITO DE DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA-1) NA CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO - CA2+ (MG COLUNA -1) NO LIXIVIADO DE UM LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E DE UM CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA CHUVA SIMULADA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO NA SUPERFÍCIE DO SOLO).

CÁLCIO									
Doses de gesso (ton ha <sup>-1</sup> )			Latossolo			Neossolo			Cambissolo
Sem planta	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
0	y = 48,24		y = 0,2183 - 0,785*x + 0,0047*x <sup>2</sup>	0,8816	y = 3,828				
4	y = 41,53		y = 3,3632 - 1,2005*x + 0,0094*x <sup>2</sup>	0,9193	y = 6,791				
8	y = 68,11 - 0,68*x + 0,0033*x <sup>2</sup>	0,969	y = 22,04		y = 11,744				
16	y = 28,28 - 0,010*x + 0,0092*x <sup>2</sup>	0,972	y = 24,47		y = 8,7728 + 0,1258*x				0,8315
Soja	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>			R <sup>2</sup>
0	Y = 67,38 - 0,013 <sup>0</sup> x + 0,0070 <sup>0</sup> x <sup>2</sup>	0,889	y = 8,821		y = 3,414				
4	Y = 78,45 - 0,015 <sup>0</sup> x	0,852	y = -10,399 + 0,3349*x + 0,0022*x <sup>2</sup>	0,9783	y = 9,506				
8	Y = 40,96 - 0,33 <sup>0</sup> x	0,678	y = 4,7299 - 0,5634*x	0,8383	y = 22,046				
16	Y = 77,64 - 0,016*x + 0,093*x <sup>2</sup>	0,852	y = 31,97 + 1,352*x - 0,0238*x <sup>2</sup>	0,9991	y = 1,7871 + 0,2568*x				0,9904
Triticale/Soja	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>			R <sup>2</sup>
0	Y = 2,05 - 0,10*x + 0,0015*x <sup>2</sup>	0,988	y = 5,827		y = 1,960				
4	Y = 3,51 - 0,16*x + 0,0019*x <sup>2</sup>	0,999	y = 6,3048 - 0,528*x + 0,0031*x <sup>2</sup>	0,9123	y = 8,624				
8	Y = 1,13 - 0,077*x	0,758	y = 3,8325 - 0,3085*x + 0,0009*x <sup>2</sup>	0,8342	y = 1,3811 - 0,2*x				0,8976
16	Y = 2,56 - 0,12*x + 0,0014*x <sup>2</sup>	0,988	y = 10,51 + 0,3973*x - 0,005*x <sup>2</sup>	0,8934	y = 3,314 - 0,4002 <sup>0</sup> x				0,794

\*\* = 1%, \* = 5% e <sup>0</sup> =10%

FONTE: O autor (2019).

TABELA 25- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA-1) NA CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO - MG2+ (MG COLUNA -1) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO GESSO EM SUPERFÍCIE).

MAGNÉSIO									
Doses de gesso (ton ha <sup>-1</sup> )				Neossolo			Cambissolo		
Sem planta	Equação	Latossolo	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
0	y = 14,869			y = -0,0097x2 + 1,2534x + 8,4536	0,8728	y = 2,244			
4	y = -0,0016x2 + 0,1699x + 10,419		0,8546	y = -0,013x2 + 1,6551x + 1,9782	0,845	y = 3,905			
8	y = -0,0713x + 16,947		0,8416	y = 44,580		y = 6,476			
16	y = -0,0025x2 + 0,2808x + 8,0679		0,994	y = 0,5986x + 15,3	0,6893	y = 6,1552			
Soja	Equação		R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação			R <sup>2</sup>
0	y = 12,84 - 0,11*x		0,695	y = 13,73		y = 4,5284 + 0,0888*x - 0,0006*x2			0,8522
4	y = 14,498 + 0,1273*x		0,6824	y = 17,246 + 0,4082*x		y = 6,9961 + 0,1134*x - 0,0007*x2			0,8492
8	y = 11,014 + 0,0915*x		0,6365	y = 19,909 + 0,1221*x		y = 24,357 + 0,5383*x - 0,0031*x2			0,8347
16	y = 24,775 + 0,6177*x - 0,0041*x2		0,8569	y = 8,3632 + 0,393*x	0,8751	y = 3,44			
Tríticale/Soja	Equação		R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação			R <sup>2</sup>
0	y = 0,7977 + 0,0366*x - 0,0005*x2		0,9921	y = 9,59		y = 0,95			
4	y = 1,0249 + 0,0427*x - 0,0005*x2		0,9993	y = 10,751 - 0,9894*x + 0,0052*x2	0,9507	y = 2,66			
8	y = 0,134 - 0,0155*x		0,8176	y = 11,103 - 0,8206*x + 0,0049*x2	0,7949	y = 2,79			
16	y = 0,686 + 0,0289*x - 0,0003*x2		0,9927	y = 2,5798 - 0,6295*x + 0,0035*x2	0,7956	y = 0,3821 - 0,0697*x			0,8261

FONTE: O autor (2019).

\*\* = 1%, \* = 5% e <sup>0</sup> =10%



TABELA 26- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA-1) NA CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO - K+ (MG COLUNA -1) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO(B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE).

POTÁSSIO									
Doses de gesso (ton ha <sup>-1</sup> )			Latossolo		Neossolo		Cambissolo		
Sem planta	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	
0	y = 2,89		y = 2,2519 + 0,1538*x + 0,0006*x2	0,989	y = 2,3617 + 0,0413*x - 0,0004*x2	0,991			
4	y = 1,7208 + 0,0313?x - 0,0004?x2	0,93	y = 3,1309 + 0,1304*x + 0,0007*x2	0,9462	y = 1,87				
8	y = 1,8132 + 0,0371?x - 0,0004?x2	0,929	y = 2,2944 + 0,1417*x + 0,0008*x2	0,8987	y = 1,93				
16	y = 1,85		y = 2,4696 + 0,1439*x + 0,0009*x2	0,9214	y = 3,2199 + 0,0848*x - 0,0009*x2	0,9771			
Soja	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>			
0	y = 1,4696 + 0,0474?x - 0,0005?x2	0,9495	y = 2,61		y = 1,57				
4	y = 2,21		y = 7,8572 + 0,156*x - 0,0009*x2	0,968	y = 2,14				
8	y = 0,61		y = 3,47		y = 6,2011 + 0,1539*x - 0,001*x2	0,8986			
16	y = 1,4081 + 0,0454?x - 0,0005?x2	0,9332	y = 3,48		y = 1,5709 + 0,0074*x	0,9348			
Tríticale/Soja	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>			
0	y = 1,44		y = 4,30		y = 2,11				
4	y = 2,11		y = 6,04		y = 2,70				
8	y = 1,03		y = 0,84 - 0,0044*x	0,756	y = 2,14				
16	y = 1,18		y = 9,03		y = 0,6559 + 0,0312?x + 0,0002?x2	0,8583			

FONTE: O autor (2019).

\*\* = 1%, \* = 5% e <sup>0</sup> =10%

TABELA 27- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA-1) NA CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO- AL3+ (MG COLUNA -1) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DO GESSO EM SUPERFÍCIE).

ALUMÍNIO							
Doses de gesso (ton ha <sup>-1</sup> )		Latossolo		Neossolo		Cambissolo	
Sem planta	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação
0	y = 0,42		y = 8,05		y = 4,09 - 0,085*x + 0,00045*x <sup>2</sup>	0,967	
4	y = 0,11		y = 3,65 - 0,52*x + 0,0038*x <sup>2</sup>	0,927	y = 4,49 - 0,086*x + 0,00043*x <sup>2</sup>	0,954	
8	y = 0,31 - 0,0022*x	0,741	y = 6,63 - 0,79*x + 0,0058*x <sup>2</sup>	0,952	y = 3,88 - 0,061*x + 0,00029*x <sup>2</sup>	0,955	
16	y = 0,60 - 0,0048*x	0,942	y = 0,64 - 0,14* + 0,0018*x <sup>2</sup>	0,768	y = 5,16 - 0,084*x + 0,00040*x <sup>2</sup>	0,96	
Soja	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	
0	Y=0,18 - 0,0049*x + 0,000031*x <sup>2</sup>	0,906	y = 5,56 - 0,053*x	0,73	y = 3,93 - 0,091*x + 0,00050*x <sup>2</sup>	0,963	
4	Y = 0,04		y = 7,52 - 0,073*x	0,814	y = 6,40 - 0,14*x + 0,00077*x <sup>2</sup>	0,938	
8	Y = 0,03		y = 7,03 - 0,13*x + 0,00083*x <sup>2</sup>	0,783	y = 2,54 - 0,054*x + 0,00032*x <sup>2</sup>	0,935	
16	Y = 0,08	0,926	y = 3,82		y = 0,947		
Triticale/Soja	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	
0	y = 0,01	0,897	y = 0,48		y = 0,14		
4	y = 1,09 - 0,00053*x + 0,0000057*x <sup>2</sup>	0,969	y = 0,59	0,911	y = 0,54		
8	y = 3,88 - 0,061*x + 0,0003*x <sup>2</sup>	0,955	y = 0,61		y = 0,55		
16	y = 5,16 - 0,084*x + 0,0004*x <sup>2</sup>	0,961	y = 0,41 - 0,032*x		y = 0,24 - 0,013*x	0,864	

FONTE: O autor (2019).

\*\* = 1%, \* = 5% e <sup>0</sup> =10%

TABELA 28- EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO DO EFEITO DAS DOSES DE GESSO (0, 4, 8, 16 TON HA-1) NA CONCENTRAÇÃO DE SULFATO – SO42- (MG COLUNA -1) NO LIXIVIADO DO LATOSSOLO VERMELHO (A), NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (B) E CAMBISSOLO HÁPLICO (C) EM FUNÇÃO DOS DIAS DA REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE CHUVA (15, 30, 60, 90 E 120 DIAS APÓS A APLICAÇÃO DE GESSO EM SUPERFÍCIE).

ENXOFRE							
Doses de gesso (ton ha <sup>-1</sup> )		Latossolo		Neossolo		Cambissolo	
Sem planta	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação
0	y = 0,973		y = 2,8 - 0,15?x + 0,0014?x <sup>2</sup>	0,908	y = 1,24 - 0,039*x + 0,0062*x <sup>2</sup>	0,988	
4	y = 1,928		y = 5,38 - 0,26?x + 0,0026?x <sup>2</sup>	0,912	y = 5,14		
8	y = 1,837		y = 16,38 - 0,93?x + 0,0095?x <sup>2</sup>	0,906	y = 10,22		
16	y = 0,835		y = 10,20 - 0,60*x + 0,0067*x <sup>2</sup>	0,962	y = 15,24		
Soja	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	
0	Y= 2,69 + 0,14*X + 0,0015*X <sup>2</sup>	0,953	y = 3,06 - 0,16?x + 0,0016?x <sup>2</sup>	0,917	y = 0,13 - 0,021*x	0,669	
4	Y = 2,52		y = 7,51 - 0,48*x + 0,0063x <sup>2</sup>	0,995	y = 9,49		
8	Y = 0,42		y = 1,80 - 0,13*x + 0,0028*x <sup>2</sup>	0,972	y = 14,69		
16	Y = 8,17 - 0,46?X + 0,0048?X <sup>2</sup>	0,926	y = 1,65 - 0,12*x + 0,0025*x <sup>2</sup>	0,959	y = 1,17 - 0,25*x	0,954	
Triticale/Soja	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	
0	Y = 4,32 - 0,21?X + 0,0021?X <sup>2</sup>	0,897	y = 2,19		y = 0,26 - 0,0071?x + 0,000048?x <sup>2</sup>	0,797	
4	Y = 2,50		y = 14,90 - 0,86x + 0,0091x <sup>2</sup>	0,911	y = 9,30		
8	Y = 3,15 - 0,14?x + 0,0014?X <sup>2</sup>	0,929	y = 9,99		y = 11,12		
16	Y = 3,11 - 0,13*X + 0,0014*X <sup>2</sup>	0,931	y = 11,64		y = 4,23 - 0,46*x		

FONTE: O autor (2019).

\*\* = 1%, \* = 5% e <sup>0</sup> =10%